GRAĐEVINAR

ČASOPIS DRUŠTVA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA
I TEHNIČARA N. R. HRVATSKE

SADRŽAJ

GOD. VII KOLOVOZ 1955 BROJ 4

»GRAĐEVINAR« IZLAZI U VEĆEM FORMATU 6 PUTA GODIŠNJE. — PRETPLATA na cijelu godinu iznosi Din 600.—, na pola godine Din 300.—, pojedini broj Din 100.—. Za poduzeća god. pretplata Din 900.—. Tekući račun kod Narodne banke FNRJ, filijale Zagreb br. 402-T-812. — Časopis izdaje: Društvo građevinskih inženjera i tehničara NRH. — Rukopisi se šalju uredništvu »Građevinara«, Zagreb, Berislavićeva ul. 6, telefon 33-325. — Uređuje redakcioni odbor, Katančićeva ul. 5. — **DOPISE I ČLANKE** treba uredništvu dostaviti u dva primjerka pisana strojem, u originalu i jednoj kopiji, pisano s razmakom između redaka. Pisati treba samo na jednoj stranici lista. Crteže i opise na njima treba izraditi crnim tušem na prozirnom ili glatkom bijelom papiru, tako da umanjeni na stranicu časopisa budu jasni i čitljivi. Pretanke crte, sitna slova i brojke ne smiju se upotrebljavati. Fotografije moraju biti jasne. Objavljeni radovi se honoriraju, rukopisi ne vraćaju.

GRAĐEVINAR

GOD. VII KOLOVOZ 1955 BROJ 4

BRZINA VODE I UDJEL ZRAKA U MJEŠAVINI KOJA STRUJI U STRMU KORITU

Dr. ing. **Ante Franković**, Zagreb

Kod strujanja vode u otvorenu koritu sa slobodnom površinom treba ustanoviti ne samo kako duboko prodire zrak u vodu i koliko smanjuje prosječnu brzinu njeno miješanje sa zrakom, već i koliko smanjuje takvo miješanje njen štetan učinak na građevinu kroz koju ona protječe i naročito u koju ona utječe.

Rezultati, koje su dobili različiti autori vršenjem pokusa, mogu zadovoljiti samo kod slučaja, kada su uvjeti takvoga strujanja jednaki ili bar slični onima, kod kojih je vršen pokus. Da bi se pak našlo rješenje, koje može zadovoljiti sve potrebe prakse, pokušalo se je — kod stanovitih pretpostavki — riješiti taj zadatak teoretskim putem (2). U tom je pokušaju rješenja toga zadatka ujedno pokazan put, kojim bi trebalo ići kod vršenja pokusa, da bi se konačno mogao riješiti taj zadatak. Lorenz G. Straub i Owen P. Lamb (6) izvršili su međutim pokuse kod strujanja vode temperature 33,5° F =~ 1° C u koritu male hrapavosti i kod različita pada i time znatno pridonijeli mogućnosti rješenja toga zadatka. Tim je pokusima nesumnjivo utvrđeno da dosadašnji način računanja prosječne brzine u strmu koritu ne može zadovoljiti, jer su rezultati, koje su oni dobili kod pada $J = \sin 15^0$ veći za 53% od rezultata, koje dobivamo računanjem pomoću Manningove jednadžbe za najmanju hrapavost, t. j. za $n = 0{,}0106$, a kod pada $J = \sin 45^0$ za 27%. Uzmemo li još u obzir, da su dobiveni i rezultati, koji odgovaraju računanju prema Manningovoj jednadžbi za $n = 0{,}0142$ (5), razumljivo je, da računanje prosječne brzine pomoću Manningove jednadžbe ne može zadovoljiti, jer bi razlike mogle biti i veće od 100% od stvarnih.

Dosada izvršenim pokusima također je ustanovljeno, da je omjer zraka i vode u mješavini to veći, što je veća hrapavost stijenki korita (4) i što je manja širina i dubina korita (3). Osim toga je ustanovljeno, da koliko mješavina zraka i vode, toliko i zrak, neposredno iznad površine mješavine, imaju približno istu brzinu kao i voda, koja struji u takvu koritu (5 i 6).

Zanemarimo li gubitak tlaka poradi međusobnoga trenja čestica, t. j. linearni gubitak tlaka kod laminarnog strujanja vode, jer njegovo zanemarivanje vjerojatno ne može znatno utjecati na točnost rezultata, možemo — kod takvog strujanja vode — izračunati koeficijent brzine c u Chezyjevoj jednadžbi.

Kod te pretpostavke je (2):

$$1 \ldots\ldots \quad c = c_1 = \frac{k_1}{\sqrt{1 + \dfrac{b\, k_1^2}{0\, k_2^2}}},$$

gdje označuje:

k_1^2 . . . recipročnu vrijednost koeficijenta trenja između vode i stijenki korita,

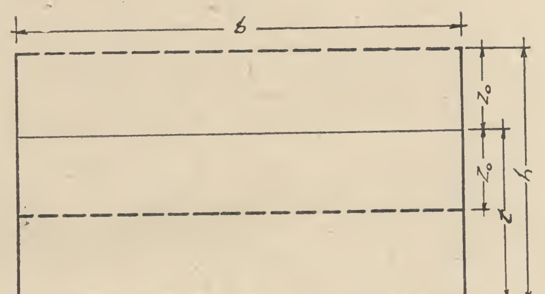
k_2^2 . . . recipročnu vrijednost koeficijenta trenja između slobodne površine vode i zraka,

b . . . . širinu slobodne površine u presjeku korita, koji je okomit na smjer strujanja vode i

0 . . . . omočeni opseg, odnosno dužinu stijenki korita o koje se tare voda.

Kod barometarskog stanja 730 mm i srednje vlažnosti zraka, dubina z_0, do koje prodire zrak u vodu, iznosi (2):

$$2 \ldots\ldots \quad z_0 = \frac{v^2}{a},$$



gdje je a veličina, koja zavisi o barometarskom stanju, i njena vrijednost iznosi:

kod barometarskog					
stanja d =	720	730	740	750	760 mm,
a =	16545	16775	17005	17235	17464 m sek^{-2}.

Budući da je pokusima utvrđeno, da je omjer zraka i vode u mješavini to veći, što je veća hrapavost stijenki i veća širina korita, možemo uzeti, da će i prodiranje zraka u vodu, koja struji, zavisiti o omjeru koeficijenta hrapavosti zraka i stijenki korita, kao i o omjeru slobodne površine vode i omočenoga opsega korita.

Kod te pretpostavke, dubina z, do koje će prodirati zrak u vodu, iznosi:

$$3 \ldots\ldots \quad z = \frac{v^2}{a} \cdot \frac{b}{0} \cdot \frac{k_2^2}{k_1^2}.$$

Udjel pak vode (p) u mješavini zraka i vode u koritu pravokutna presjeka, dubine t, iznosi (2):

$$4 \ldots\ldots \quad p = \frac{t}{t + z},$$

gdje t označuje zamišljenu dubinu vode, koju bi ona imala kod brzine v, kad se ne bi izmiješala sa zrakom.

Stvarna dubina vode i mješavine zraka i vode iznosi:

$$5 \ldots\ldots \quad h = t + z.$$

Na temelju rezultata, koji su dobiveni kod vršenja pokusa s koritom širine b = 2,43 m, dubine t = 0,12 do 0,72 m i kod različita pada, dao je Hall (4) jednadžbe, pomoću kojih možemo izračunati udjel zraka ($1 - p$) i vode (p) u mješavini zraka i vode, koje glase:

$$6 \ldots\ldots \quad \frac{1 - p_1}{p_1} = 0{,}00535 \ \frac{v^2}{g\,R}, \text{ odnosno:}$$

$$7 \ldots\ldots \quad \frac{1 - p_2}{p_2} = 0{,}0069 \left(\frac{v^2}{g\,R} - 40\right),$$

gdje R označuje hidraulički radius, a $\frac{v^2}{g\,R}$ Froudeov broj.

Uvrstimo li vrijednost z iz jednadžbe 3 u jednadžbu 4, odnosno 5, dobivamo:

$$8 \ldots\ldots \quad \frac{1 - p}{p} = \frac{v^2\,b\,k_2^2}{a\,t\,0\,k_1^2} = \frac{v^2\,k_2^2}{a\,t\left(1 + \frac{2\,t}{b}\right)k_1^2},$$

$$9 \ldots\ldots \quad p = \frac{1}{1 + \frac{v^2\,k_2^2}{a\,t\left(1 + \frac{2\,t}{b}\right)k_1^2}},$$

$$10 \ldots\ldots \quad 1 - p = \frac{1}{1 + \frac{a\,t\left(1 + \frac{2\,t}{b}\right)k_1^2}{v^2\,k_2^2}},$$

$$11 \ldots\ldots \quad h = \frac{t}{p} = t\left[1 + \frac{v^2\,k_2^2}{a\,t\left(1 + \frac{2\,t}{b}\right)k_1^2}\right].$$

Ako bismo htjeli izraziti zavisnost udjela zraka u vodi o Froudeovu broju, kako je to učinio Hall, dobivamo:

$$12 \ldots\ldots \quad \frac{1 - p}{p} = \frac{g\,R\,b\,k_2^2}{a\,t\,0\,k_1^2} \cdot \frac{v^2}{g\,R}.$$

Kod korita pravokutna presjeka je:

$$R = \frac{b\,t}{b + 2\,t}, \text{ pa jednadžba 12 glasi:}$$

$$13 \ldots \quad \frac{1 - p}{p} = \frac{g}{a\left(1 + \frac{2\,t}{b}\right)} \cdot \frac{k_2^2}{k_1^2} \cdot \frac{v^2}{g\,R}.$$

Premda veličina a zavisi o barometarskom stanju, kod rješavanja većega broja praktičkih zadataka možemo s dovoljnom točnosti uzeti da je:

$$14 \ldots\ldots \quad a = 17\,000 \text{ m sek}^{-2}.$$

Kod te pretpostavke jednadžba 13 glasi:

$$15 \ldots\ldots \quad \frac{1 - p}{p} = \frac{0.000577}{1 + \frac{2\,t}{b}} \cdot \frac{k_2^2}{k_1^2} \cdot \frac{v^2}{g\,R}.$$

Iz te jednadžbe vidimo, da — kod stanovitoga barometarskog stanja — omjer zraka i vode linearno raste s Froudeovim brojem i da je taj omjer to veći, što je veća hrapavost stijenki, t. j. k_1^2 to manji i što je veća širina korita a manja dubina vode u njemu. Isto tako vidimo i to, da bi — kod vrlo velike širine a male dubine vode u koritu, t. j. kod $\frac{2\,t}{b} = \sim 0$ — ta jednadžba odgovarala jednadžbi 6 kad bi bio:

$\frac{k_2^2}{k_1^2} = \sim 9{,}2721$, t. j. kad bi koeficijent hrapavosti stijenki bio 9,2721 puta veći od hrapavosti zraka.

Ukoliko pak uzmemo, da je ispravna pretpostavka o veličini prodiranja zraka u vodu, t. j. da je:

$z = \frac{v^2\,b\,k_2^2}{a\,0\,k_1^2}$, znači, da će se voda gibati u presjeku korita, koji je manji za dubinu z, pa stoga ne će ni njen omočeni presjek ni njen omočeni obod odgovarati hidrauličkom radiusu, koji uzimamo kod računanja brzine prema Chezyjevoj jednadžbi. Uvrstimo li stoga u jednadžbu 1 stvarni omočeni opseg 0, dobivamo:

$$16 \ldots \quad c^2 = c_1^2 = \frac{k_1^2}{1 + \frac{b\,k_1^2}{0'\,k_2^2}} = \frac{0'\,k_1^2}{0' + \frac{b\,k_1^2}{k_2^2}}.$$

Prema Chezyju, za korito pravokutna presjeka, jest:

$$v = c\sqrt{\frac{b\,t'}{0'}J} \quad \text{i stoga:}$$

$$17 \ldots\ldots \quad v^2 = \frac{c^2\,b\,t'\,J}{0'} = \frac{b\,t'\,k_1^2\,J}{0' + \frac{b\,k_1^2}{k_2^2}},$$

gdje je:

$$18 \ldots\ldots \quad t' = t - z = t - \frac{v^2\,b\,k_2^2}{a\,0\,k_1^2}, \text{ a}$$

$$19 \ldots \quad 0' = b + 2\,t' = b + 2\,t - \frac{2\,v^2\,b\,k_2^2}{a\,0\,k_1^2}.$$

Uvrstimo li vrijednost za t' i $0'$ u jednadžbu 17, dobivamo:

$$20 \;.\;.\; v = \sqrt{A - \sqrt{A^2 - B}} = \sqrt{A\left(1 - \sqrt{1 - \frac{B}{A^2}}\right)},$$

gdje je:

$$21 \;.\;.\;.\; A = \frac{a\, b\left(1 + \frac{2\,t}{b}\right) k^2_1}{4\, k^2_2}\left[1 + \frac{2\,t}{b} + \frac{k^2_1}{k^2_2} + \frac{k^2_2\, J}{a\left(1 + \frac{2\,t}{b}\right)}\right] \quad i$$

$$22 \;.\;.\;.\; B = \frac{a\, b\, t\, J\, k^4_1 \left(1 + \frac{2\,t}{b}\right)}{2\, k^2_2}.$$

Budući da je $\frac{B}{A^2} < 1$, s dovoljnom točnosti možemo uzeti da je:

$$23 \;.\;.\;.\;.\;.\; v = \sqrt{\frac{B}{2\,A}}, \text{ odnosno:}$$

$$24 \;.\;.\;.\;.\;.\; v = \sqrt{\frac{k^2_1\, t\, J}{1 + \frac{2\,t}{b} + \frac{k^2_1}{k^2_2} + \frac{k^2_2\, J}{a\left(1 + \frac{2\,t}{b}\right)}}}.$$

Iz te jednadžbe proizlazi, da kod strujanja vode u strmu koritu, prosječna brzina v zavisi o zamišljenoj dubini t, koeficijentu hrapavosti stijenki korita i zraka, padu, širini i dubini korita, te barometarskom stanju.

Rezultati, koje dobivamo računanjem udjela zraka u mješavini pomoću jednadžbe 10, a brzine pomoću jednadžbe 24 za $k_1 = 231\ m^{1/2}sek^{-1}$, $k_2 = 470\ m^{1/2}sek^{-1}$ i $a = 17000\ m\ sek^{-2}$, odnosno i $a = 17100\ m\ sek^{-2}$, kao i rezultati, koje su dobili L. G. Straub i O. P. Lamb vršenjem pokusa (6), navedeni su u tablicama 1 i 2.

Tablica 1.

$a = 17000\ m\ sek^{-2}$, $Q = 0{,}1812\ m^3\ sek^{-1}$, $b = 0{,}4572\ m$, $k_1 = 231\ m^{1/2}sek^{-1}$, $k_2 = 470\ m^{1/2}sek^{-1}$							
J = sin	15⁰	22⁰30′	30⁰	37⁰30′	45⁰		Opaska
v =	10,838	11,237	11,454	11,589	11,680	$m\ sek^{-1}$	Prema jednadžbi 24.
v' =	10,780	10,950	11,050	11,440	12,130	$m\ sek^{-1}$	Rezultati pokusa (5,436).
$\frac{v-v'}{v} . 100 =$	+0,53	+2,55	+3,52	+1,28	—3,85	%	Prosječno ±2,35%
1—p=q=	0,4028	0,4302	0,4450	0,4541	0,4601		Prema jednadžbi 10.
1—p'=q'=	0,4060	0,4300	0,4430	0,4450	0,4720		Rezultati pokusa (5,435).
$\frac{q-q'}{q} . 100 =$	—0,79	+0,04	+0,45	+2,00	—2,58	%	Prosječno ±1,172%

Tablica 2.

$a = 17100\ m\ sek^{-2}$, $Q = 0{,}1812\ m^3\ sek^{-1}$, $b = 0{,}4572\ m$, $k_1 = 231\ m^{1/2}sek^{-1}$, $k_2 = 470\ m^{1/2}sek^{-1}$							
J = sin	15⁰	22⁰30′	30⁰	37⁰30′	45⁰		Opaska
v' =	10,851	11,253	11,472	11,607	11,698	$m\ sek^{-1}$	Prema jednadžbi 24.
v =	10,780	10,950	11,050	11,440	12,130	$m\ sek^{-1}$	Rezultati pokusa (5,436).
$\frac{v-v'}{v} . 100 =$	+0,65	+2,69	+3,68	+1,44	—3,69	%	Prosječno ±2,43%
1—p=q=	0,4021	0,4299	0,4447	0,4538	0,4600		Prema jednadžbi 10.
1—p'=q'=	0,4060	0,4300	0,4430	0,4450	0,4720		Rezultati pokusa
$\frac{q-q'}{q} . 100 =$	—0,96	—0,02	+0,38	+1,93	—2,60	%	Prosječno ±1,8%

Iz tih primjera vidimo, da rezultati mnogo ne variraju, premda je u primjeru 1 uzeto $a = 17000$ m sek^{-2} a u primjeru 2 $a = 17100$ m sek^{-2}. Isto tako vidimo, da se rezultati, koji se dobiju računanjem pomoću jednadžbe 10 i 24, mnogo ne razlikuju od rezultata, koji su dobiveni vršenjem pokusa i da maksimalne razlike u rezultatima ne premašuju pogreške, koje su dopustive u praksi, odnosno koje se pojavljuju kod vršenja pokusa, naročito kad uzmemo u obzir, da i zanemarivanje gubitka tlaka poradi međusobnoga trenja čestica, utječe na točnost rezultata. Ujedno je potrebno istaknuti, da kod takvog strujanja čestice mješavine, udarajući u čestice vode, koje struje u koritu, povećavaju njihovu brzinu, pa je stoga razumljivo, da koeficijenti k_1 i k_2 moraju biti veći od onih kod jednolikog vrtložnog strujanja. Kod vrtložnog strujanja uzima se $k_2 = 170$ $m^{1/2}sek^{-1}$ (2,468). Stoga bi koeficijente k_1 i k_2, kod strujanja vode u strmu koritu, trebalo pomnožiti faktorom $\frac{470}{170} = \sim 2{,}765$.

Čim voda, odnosno mješavina, postigne brzinu v, ona dalje struji tom brzinom, pa na svom putu gubi svu energiju, odnosno tlak, koji odgovara padu korita. Stoga omjer stvarne energije vode, koja struji u takvu koritu, i one, koju ona ima kod raspoloživog pada H, iznosi:

$$25 \ldots\ldots \quad \psi = \frac{\frac{M\,v^2}{2}}{\frac{M}{2}\,2\,g\,H} = \frac{v^2}{2\,g\,H}.$$

Iz te jednadžbe vidimo, da je omjer stvarne energije, koju ima voda, odnosno mješavina, i energije, koju bi ona trebala imati kod raspoloživog pada H, to manji, što je manja njena brzina i što je veća visinska razlika H. Premda je brzinska (kinetička) energija vode, odnosno mješavine, kod slučaja, da je ona već postigla brzinu v, uvijek jednaka i iznosi $\frac{M\,v^2}{2}$, ipak je specifični tlak, a stoga i specifični učinak takve mješavine na plohu, koja je okomita na smjer njena gibanja, to manji, što je veći presjek u kom struji mješavina.

Ukoliko stoga takva mješavina struji u koritu pravokutna presjeka, njena bi brzina uzrokovala tlak na plohu, koja je okomita na smjer njenoga strujanja, koji iznosi:

$$P' = M\,v = \frac{(\gamma Q + \gamma_1 Q_1)v}{g},$$

gdje označuje:

γ ..... specifičnu težinu vode,
γ_1 ..... specifičnu težinu zraka,
Q ..... količinu vode u mješavini i
Q_1 ..... količinu zraka u mješavini.

Zanemarimo li nerazmjerno malu masu zraka prema onoj vode, taj će tlak, u koritu pravokutna presjeka, iznositi:

$$26 \ldots\ldots \quad P' = \frac{\gamma\,b\,(t+z)\,v^2}{g}.$$

Kad bi pak voda strujala u presjeku $b\,t$, njena bi brzina uzrokovala na vertikalnu plohu tlak veličine:

$$27 \ldots\ldots \quad P = M\,v = \frac{\gamma\,b\,t\,v^2}{g},$$

pa bi omjer tih tlakova iznosio:

$$28 \ldots\ldots \quad \frac{P}{P'} = \frac{t}{t+z} = p.$$

Stoga prividna brzina mješavine zraka i vode c, koja je mjerodavna kod određivanja učinka mješavine zraka i vode na plohu, koja je okomita na smjer strujanja takve mješavine, iznosi:

$$29 \ldots\ldots \quad c = p\,v.$$

Omjer pak stvarne i prividne brzine u, koji je omjer dao Douma (1) jednadžbom:

$$30 \ldots\ldots \quad u^2 = \frac{20\,v^2}{g\,R} - 100,$$

iznosi:

$$31 \ldots\ldots \quad \frac{v-u}{v} = 1 - p = \frac{v^2\,k_2^2\,p}{a\,t\left(1+\frac{2t}{b}\right)k_1^2}.$$

Uvrstimo li u tu jednadžbu vrijednost p iz jednadžbe 9, dobivamo:

$$32 \ldots\ldots \quad u = \frac{v}{1+\frac{v^2\,k_2^2}{at\left(1+\frac{2t}{b}\right)k_1^2}}.$$

Specifična energija takve mješavine iznosi:

$$33 \ldots\ldots \quad E_1 = \frac{M\,v^2\,p^2}{2},$$

a energija vode, koja struji brzinom v:

$$34 \ldots\ldots \quad E_2 = \frac{M\,v^2}{2}.$$

Stoga se učinak mješavine zraka i vode, kod takvoga strujanja, smanjuje za:

$$35 \ldots\ldots \quad E_g = \frac{M\,v^2}{2}(1-p^2) = \frac{M\,v^2}{2}(1-p)(1+p).$$

Iz te jednadžbe proizlazi, da prividno gubimo to više energije, što je veći udjel zraka $(1 - p)$ u takvoj mješavini. Stoga nastojimo, da se, u takvu koritu, što više izmiješa voda sa zrakom, jer to smanjuje njen štetan učinak na građevinu, naročito onu u koju ona utječe. Nadalje vidimo i to, da se voda u takvu slučaju to više izmiješa sa zrakom, što je veća hrapavost stijenki korita i veća širina a manja dubina vode u koritu i manje barometarsko stanje. Osim toga vidimo, da vjerojatno na točnost rezultata znatno ne utječe niti temperatura vode niti zraka. Ukoliko bi se stoga izvršili pokusi s koritom različite hrapavosti i kod različita pada i ustanovio udjel zraka u mješavini i njena brzina, a usto mjerilo barometarsko stanje, kod kojega je vršen pokus, a također i temperatura zraka i vode, mogli bismo ustanoviti koeficijente hrapavosti za korita, koja su napravljena iz različita materijala i ujedno utvrditi, da li i koliko se mijenja koeficijent hrapavosti zraka kod različitoga barometarskog stanja.

Rezultati pokusa, koje namjeravaju provesti L. G. Straub i O. P. Lamb (6) s koritom različite hrapavosti, omogućit će provjeriti ispravnost ovdje izvedenih jednadžbi i ustanoviti koeficijente hrapavosti zraka i stijenki korita.

LITERATURA

(1) Douma J. H. and Joe W. Johnson: Entrainment of air in flowing water a symposium. Proceedings vol. 69, april 1943.

(2) Franković A.: Head loss and air entrainment by flowing water in steep chutes. Proceedings, Minnesota International Hydraulics Convention, september 1953, Minneapolis.

(3) Halbronn G.: Etude de la mise en régime des écoulements sur les ouvrages à forte pente. Houille Blanche, 1952, No. 1 i 3.

(4) Hall L.: Open channel flow at high velocities. Proceedings, vol. 68, september 1942.

(5) Jevdjevich V. and Levin L.: Entrainment of air in flowing water and technical problems connected with it. Proceedings, Minnesota International Hydraulics Convention, september 1953. Minneapolis.

(6) Straub G. Lorenz and Oven P. Lamb: Experimental studies of air entrainment in open channel flow. Proceedings, Minnesota International Hydraulics Convention, september 1953, Minneapolis.

HIDROELEKTRANA MESIĆI NA RIJECI PRAČI

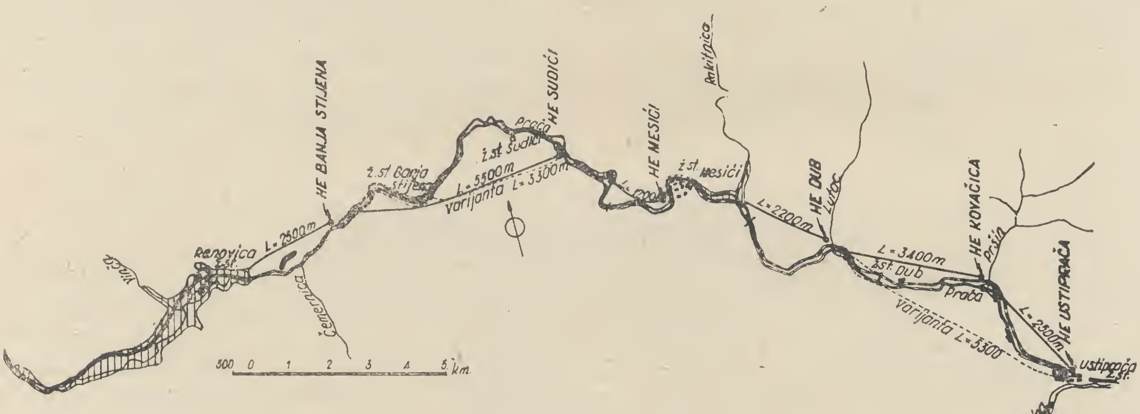
Ing. **Stjepan Mikulec**, »Elektroprojekt«, Sarajevo

Uvod

Rijeka Prača jedna je od lijevih pritoka rijeke Drine. Njeno vrelo nalazi se na Jahorini nedaleko Sarajeva, a utok u Drinu uzvodno od Višegrada. U vezi s izgradnjom hidroelektrane u Mesićima proučeno je pitanje njenog iskorištenja u energetske svrhe uopće.

srednjem i donjem toku, te uz pritoku Rakitnicu. Prelaz iz srednjeg u donji tok oblikuju pak jurski krečnjaci. Gornji tok leži u geološki povoljnim formacijama, prekrivaju ga verfenski i permski škriljci te karbonski pješčari.

Pomenuti geološki sastav, a k tome i topografski uslovi, diktirali su lociranje akumulacije kod Re-



Sl. 1 — Situacija postrojenja na rijeci Prači

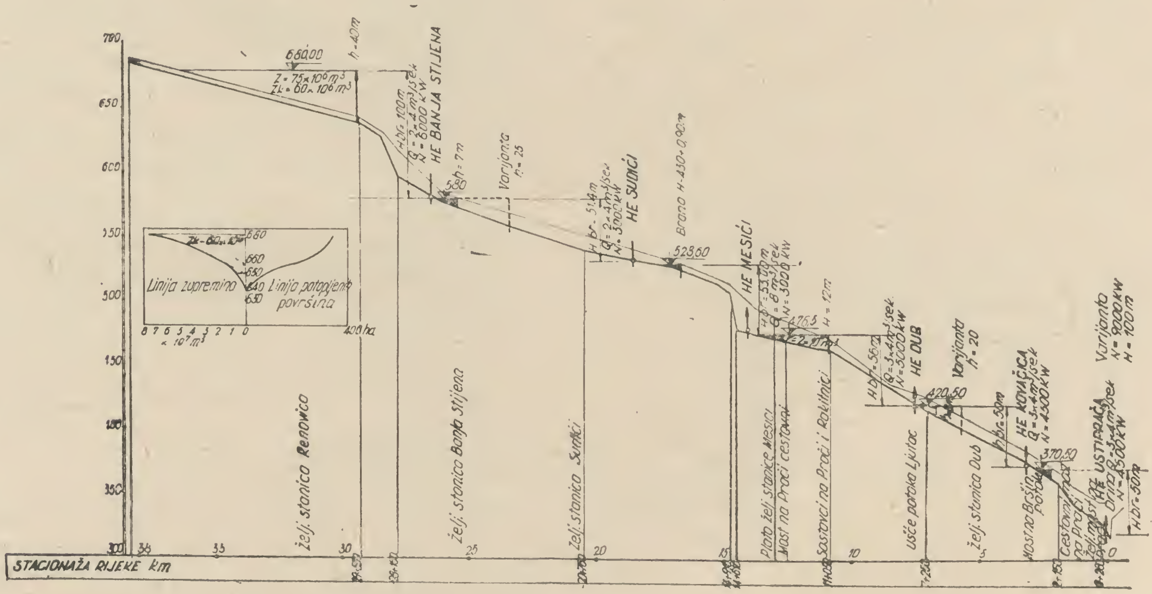
Slivno poručje zajedno sa slivom Rešetnice, koje mu indirektno pripada, iznosi oko 1100 km². Visina oborina u prosjeku iznosi 920 mm. Srednji proticaj na ušću u Drinu iznosi oko 12 m³/s, što je relativno malo i ukazuje na jak utjecaj krša. Najveći dio područja pripada trijaskim krečnjacima. Pogotovu u

novice u gornjem toku, što je svakako i energetski povoljno. Srednji i donji tok riješen je nizom od nekoliko tipskih derivacionih postrojenja sa manjim basenima za dnevno ili sedmično izravnanje. S obzirom na povoljne transportne prilike (uzana pruga Sarajevo—Višegrad) i skoncentriran pad

izabrano je kao prvo postrojenje za izgradnju hidroelektrana u Mesićima.

Ukupno se predviđa instalirana snaga sistema 27 000 kW, a godišnja proizvodnja u normalno vlažnoj godini 180 000 000 kWh. Instalirana snaga HE Mesići iznosi 3 000 kW, a godišnja proizvodnja ostvarena je u 3 godine pogona po 16 000 000 kWh godišnje.

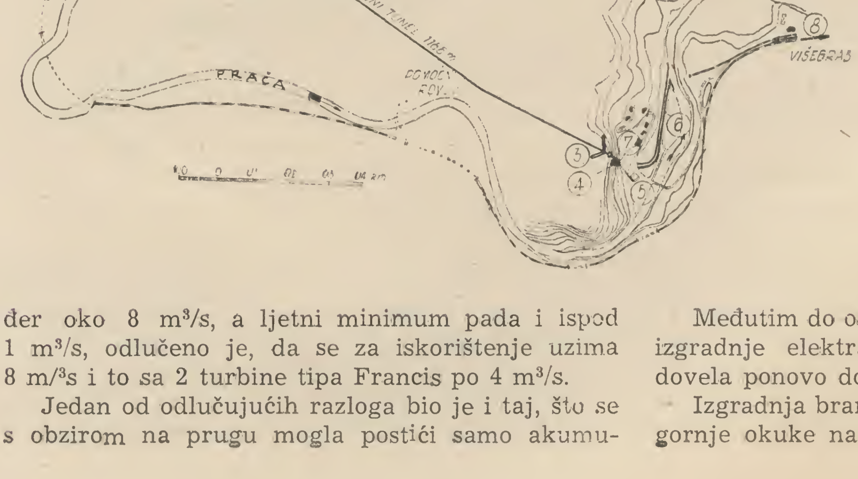
lacija za dnevno izravnanje, pa je na taj način omogućen rad turbina kod male vode. Ovakva niska instalacija danas sigurno ne bi bila prihvatljiva, ali s obzirom na prilike i potrebnu brzinu rada u doba donošenja odluke bila je jedino moguća. Niti kasnija izgradnja akumulacije kod Renovice, ukoliko će doći u obzir, ne će moći da eliminira prilično dugotrajne gubitke.



Sl. 2 — Uzdužni profil rijeke Prače od željezničke stanice Prača do ušća u Drinu

Na osnovu opažanja na vodomjernom profilu u Mesićima, koji podaci nisu sasvim pouzdani, konstatiran je srednji godišnji proticaj od cca 8 m^3/s. Međutim pošto 5 mjesečna voda iznosi također oko 8 m^3/s, a ljetni minimum pada i ispod 1 m^3/s, odlučeno je, da se za iskorištenje uzima 8 $m/^3s$ i to sa 2 turbine tipa Francis po 4 m^3/s.

Jedan od odlučujućih razloga bio je i taj, što se s obzirom na prugu mogla postići samo akumu-



Sl. 3 — Situacija HE Mesići

1 — Brana sa ispustima
2 — Ulazni organ i taložnica
3 — Vodostan i komora zatvarača
4 — Strojarnica
5 — Trafostanica
6 — Odvodni kanal
7 — Upravna zgrada
8 — Željeznička stanica Mesići

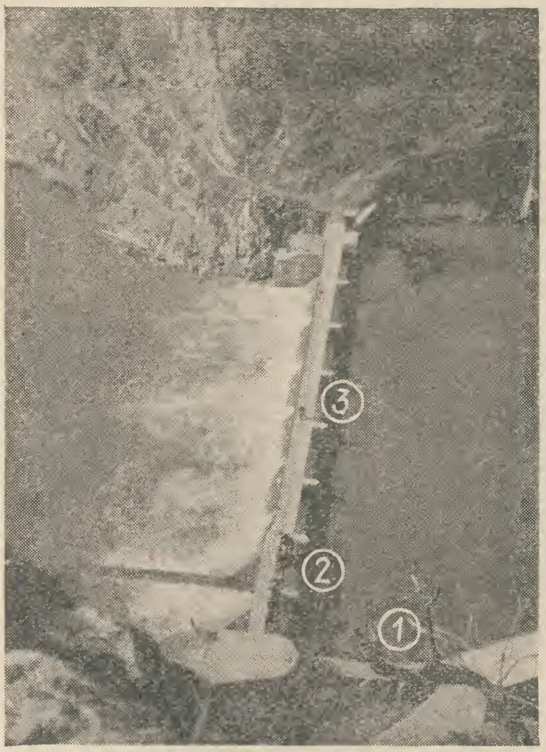
Oko 3,5 km uzvodno, pa do samih Mesića, Prača pravi veliku okuku. Na njenom završetku je na kratkoj relaciji skoncentriran velik pad. Rijeka prolazi visokim kanjonom krečnjaka, a paralelno s desnom obalom provlači se pruga.

Raspoloživi skoncentriran pad bio je predmet studija za iskorištenje u svrhu proizvodnje energije još ranije, a u vezi ispitivanja mogućnosti elektrifikacije pruge Sarajevo—Višegrad.

Međutim do ostvarenja nije došlo. Potreba hitne izgradnje elektrana iza Oslobođenja prirodno je dovela ponovo do ovog mjesta.

Izgradnja brane bila je najpogodnija na početku gornje okuke na mjestu gdje se pruga na desnoj

obali probija tunelom, a leži u padu. Na taj način bilo je omogućeno podizanje uspora za 5,20 m bez opasnosti za prugu uzvodno. Obzirom na lokaciju strojarnice nasuprot željezničke stanice u Mesi-



Sl. 4 — Situacija brane
1 — Ulazni organ 2— Ispusti
3 — Preljevni dio brane s mostom

ćima, tunel je predviđen na lijevoj obali, gdje siječe okuku prolazeći krečnjačkim masivom. Zbog relativno bujičarskog karaktera rijeke predviđena je na ulazu u tunel taložnica.

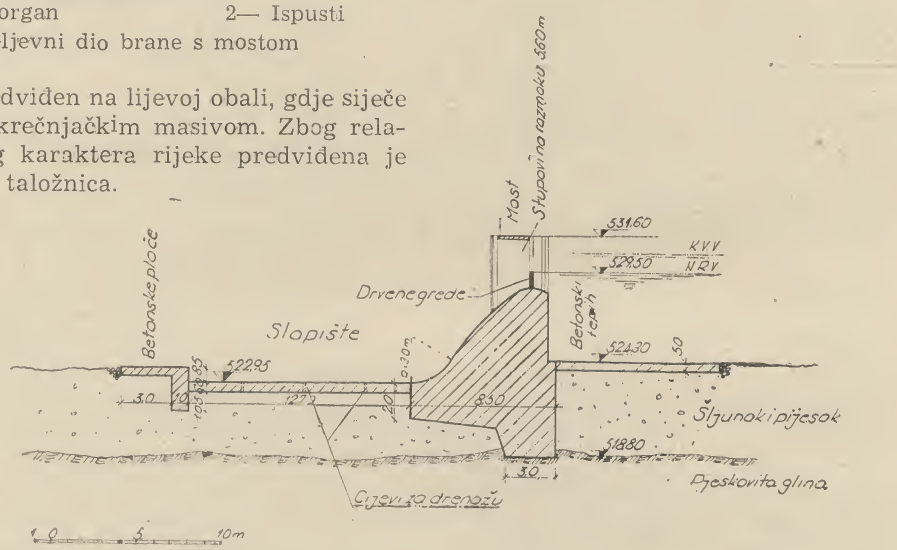
Ukupni brutto pad koji je na taj način postignut iznosi 53 m.

Pošto se nije raspolagalo potrebnom opremom za istražne radove, nisu za projektiranje bili na raspolaganju nikakvi drugi podaci osim geoloških izvještaja. Jedino je u profilu brane bilo pobijeno nekoliko starih šina, na temelju čega se pretpostavljalo da je stijena u koritu na relativno maloj dubini. To je dovelo gotovo do zastoja u izgradnji brane u toku samog izvođenja, što će se vidjeti iz kasnijeg razlaganja.

Opis objekata

Brana je gravitaciona, profila po Creageru, predviđena da se fundira na stijeni. Dužina u kruni 36 m. Na lijevoj obali predviđena su 2 ispusta širine po 4 m, sa ustavama iz po 2 komada na ručni pogon. Maksimalni preljev preko krune predviđen je sa 2,20 m obzirom na prugu. Ukupni kapacitet preljeva i ispusta iznosi 500 m³/s, dok teoretska velika voda iznosi 350 m³/s. Preko brane predviđen je poslužni most, sa koga će se rukovati grednim zapornicama, koje za srednjih i niskih vodostaja nadvisuju krunu za 0,90 m. Na taj način dobiva se visina uspora od 5,20 m.

Ispod brane predviđeno je slapište, dužine 12 m, sa pragom na kraju, da ne bi dolazilo do podlokavanja, jer je korito zasuto šljunkom. Pošto se kasnije ustanovilo, da je stijena u koritu erodirana



Sl. 5 — Poprečni presjek brane

Strojarnica je predviđena uvučena u brdo, i to iz slijedećih razloga: da se uštedi na čeličnom limu za tlačni cijevni vod, da se izbjegne fundiranje na aluviju i steknu iskustva za veće gradnje. Da bi se pad potpuno iskoristio i izbjegao uspor od velike vode u profilu strojarnice, izveden je odvodni kanal u dužini od 270 m prokopan u aluviju.

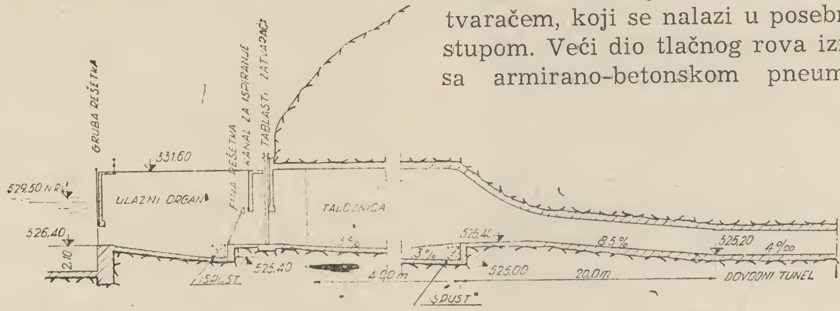
na dubinu preko 20 m, profil brane je promijenjen i brana je fundirana na šljunku, s tim, da je uzvodni zid produžen do sloja pjeskovite gline, na koji se tu naišlo.

Radi zaštite brane s uzvodne strane izveden je preko čijelog korita betonski tepih debljine 60 cm na dužini od 10 m.

Dužina uspora uslijed podizanja brane iznosi cca 1 km, a korisna akumulacija 50 000 m³. To omogućava da postrojenje može kod malih voda raditi kao vršno.

Vodostan ima donju i gornju komoru okruglog presjeka površine 16 m².

Iz vodostana, u produženju tunela, odvaja se tlačni rov snabdjeven sigurnosnim leptirastim zatvaračem, koji se nalazi u posebnoj komori sa pristupom. Veći dio tlačnog rova izrađen je iz betona sa armirano-betonskom pneumatskom žbukom.

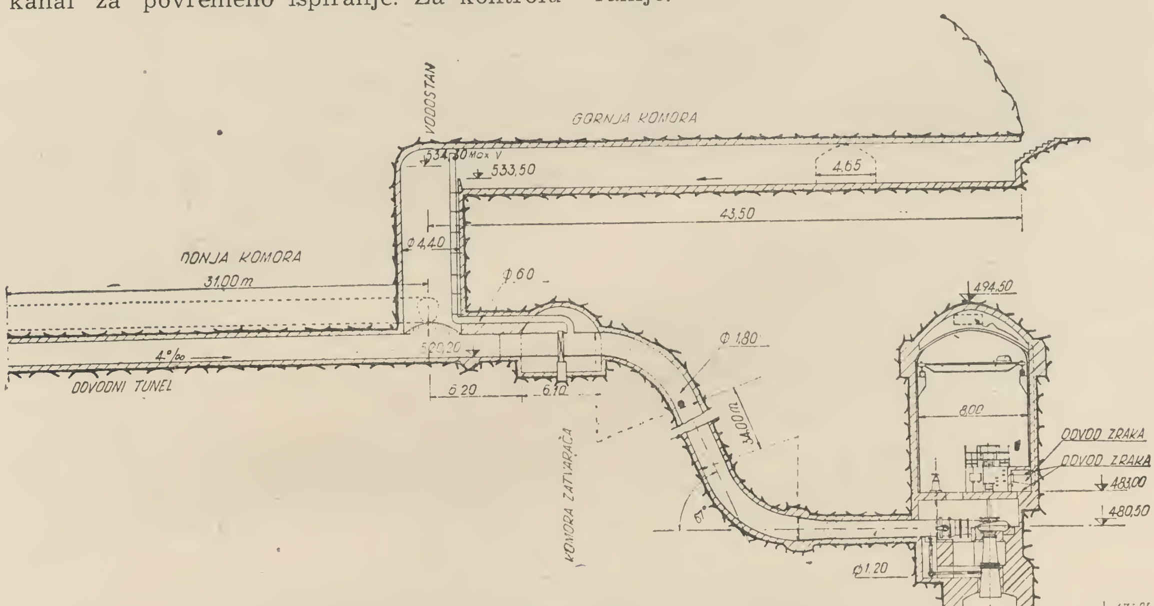


Sl. 6 — Presjek kroz ulazni organ i taložnicu

Situiranje tunela s obzirom na strojarnicu i prikladnost napadnih rovova uslovilo je lokaciju ulaznog organa na lijevoj obali. Prag je položen visoko zbog nanosa, sa grubom rešetkom. Ispred fine rešetke postavljen je kanal za ispiranje, a iza njega dvodjelne ustave na ulazu u taložnicu. Taložnica ima širinu 6 m, dužinu 40 m a nagib 4%. Na kraju ima kanal za povremeno ispiranje. Za kontrolu

Račva i odvojci do dviju turbina su od čeličnog lima, obloženi betonom. Promjer rova iznosi 1,80 m.

Kaverna strojarnice ima širinu 9,0 m, dužinu 17,50 m. Njen potpuno periferni položaj bio je izabran iz razloga, da bi se izbjegla potreba instalacija za klimatizaciju strojarnice. Razlozi koji su doveli do stavljanja strojarnice u kavernu navedeni su ranije.



Sl. 7 — Presjek kroz vodostan, tlačni rov i strojarnicu

predviđen je hodnik. Podzemni smještaj taložnice bio je izabran iz razloga, što su takovi radovi bili jeftiniji s obzirom na širinu korita i nanos, na kojem je trebalo fundirati zid.

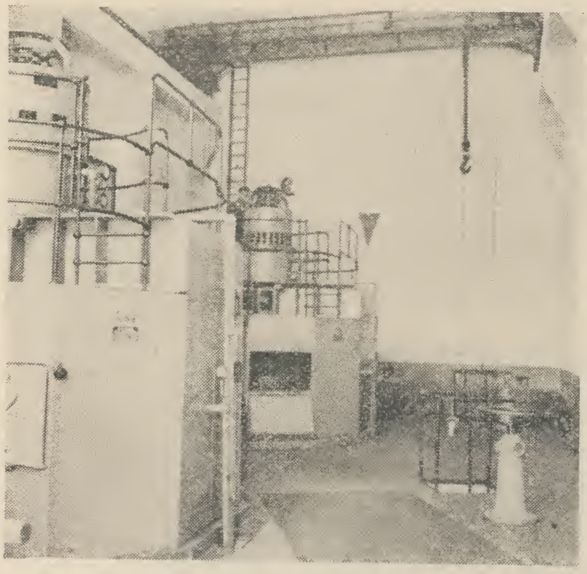
Dovodni tunel dužine 1186 m ima poprečni presjek od 3 m² potkovičastog profila. Ovaj profil bio je izabran zbog toga, jer su djelomično postojale željezne remenate za oplatu sa jedne ranije gradnje. Maksimalna brzina vode iznosi 2,67 m/s.

S obzirom na mali unutarnji pritisak i kakvoću stijene beton je služio samo za oblaganje, a bio je nabačen sa 2 cm pneumatske žbuke radi osiguranja nepropusnosti.

Kaverna ima nosivi svod, a strane su obložene betonom. Odvodni kanal prolazi ispod cijele strojarnice i morao je stoga biti djelomično pokriven, da bi se stvorio plato ispred ulaznog portala.

Predviđena su dva agregata na vertikalnoj osi sa 600 okr/min po 1600 kVA. Turbine su Francis, za konstruktivni pad od 48 m. Odgovarajući generatori imaju napon 3,15 kV. U samoj sali nalazi se komandna ploča, a razvodno postrojenje 35 kV nalazi se u odvojenoj zgradi na platou ispred centrale spojeno kablovskim kanalom. Zrak za hlađenje generatora uzima se na portalu sa strane, a izlazi iz međustroplja na gornji otvor.

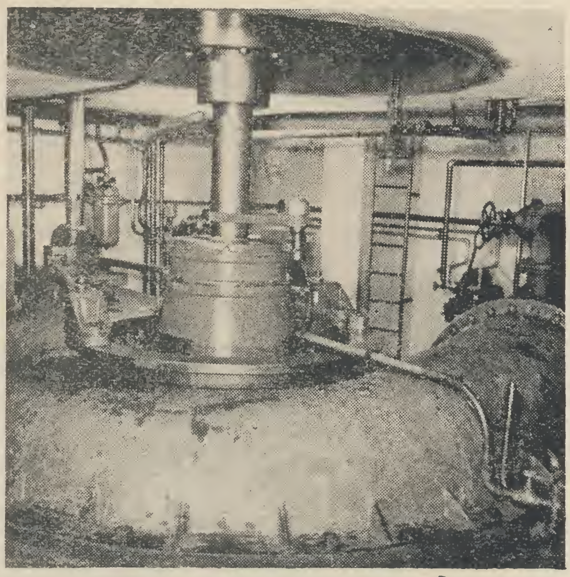
Za zaštitu od vlage u kaverni je predviđen armirani paraboličan svod, upet u kalotu. Vertikalni izolacioni zidovi izvedeni su na razmaku od



Sl. 8 — Pogled na mašinsku salu

8 cm, od opeke. Temeljni okviri za generatore odvojeni su potpuno od ostale konstrukcije. U turbinskom prostoru predviđen je spoj na odvodni kanal za slučaj prskanja cijevi ili spirale.

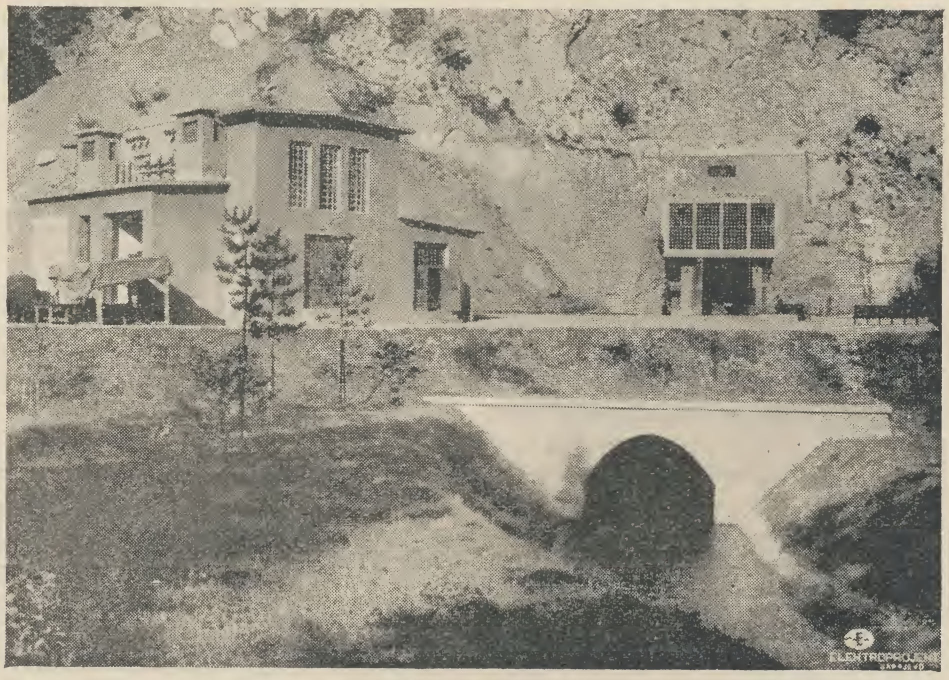
Elektrana je povezana dalekovodom 35 kV sa TS u Sarajevu i TS u Goraždu. Pristup je putem na željezničku stanicu Mesići, udaljenu cca 500 m.



Sl. 9 — Izgled turbinskog prostora

Izvođenje radova

Pripremni radovi na izgradnji postrojenja počeli su u jesen 1946 godine. Nastambe za radnike bile su podignute u blizini željezničke stanice kod



Sl. 10 — Pogled na portal strojarnice, trafo stanicu i odvodni kanal

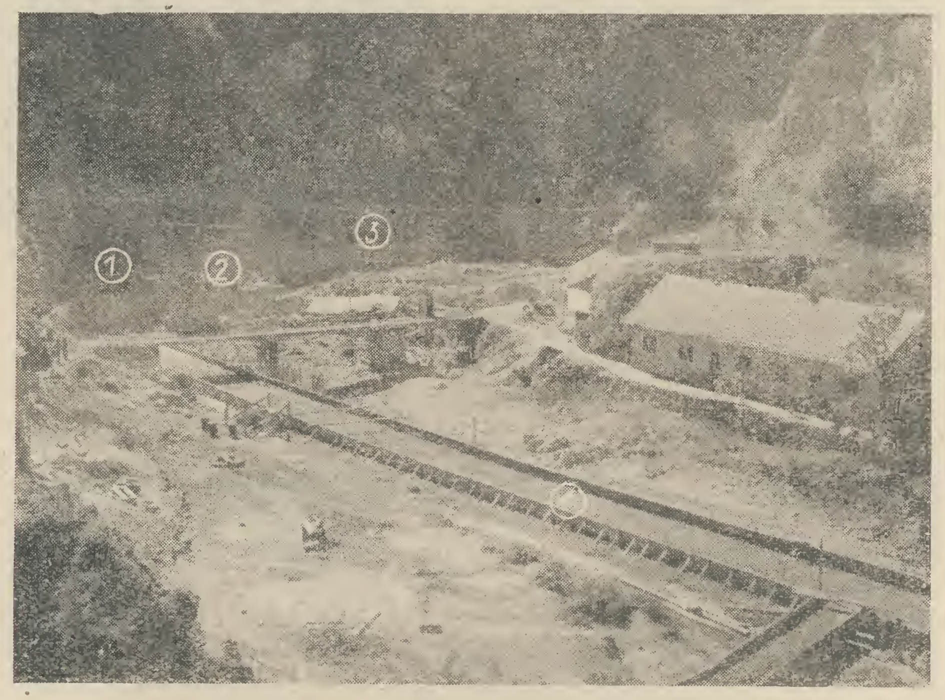
Odvodni kanal predviđen je na lijevoj obali Prače, u stabiliziranom aluvijskom nanosu, obložen betonskim pločama do radnog nivoa. Njegovim produžavanjem postiglo se još 3 m na padu. Širina dna iznosi 4 m, a pad 0,7‰.

Mesića i kod brane. Za branu je izrađen slijepi odvojak od uzane pruge Sarajevo—Višegrad — tim putem je išlo sveukupno snabdijevanje.

Na dovodnom tunelu otvorena su 3 pomoćna rova: sa obadva kraja i bliže sredini, koji je snabdi-

jevan također direktno prugom. Bušenja su slabo napredovala zbog pomanjkanja struje i kompresora, tako da je tunel bio probijen tek 1948 godine. Sav se rad odvijao u krečnjaku, a naišlo se na dvije manje kaverne, koje su bile vodonosne, te na jednu veliku, koju je trebalo posebnom konstrukcijom premostiti. Betoniranje tunela vršilo se uglavnom šljunkom koji je dopreman vozom sa Drine, jer nije bilo nikakve mehanizacije za drobljenje i separiranje krečnjaka. Za ugradnju betonske mase bili su na raspolaganju pervibratori. Malter u debljini od 2 cm nabacivan je aparatima vinodolske konstrukcije po Moser-Kraftban postupku. Aparati su izrađivani na gradilištu. S obzirom na žurnost rada i pomanjkanje stručnih radnika, malter je nanašan bez ikakvog zaglađivanja. Radi poboljšanja glatkoće malter je na kraju poprskan cementnim mlijekom. Ipak mjereni koef. hrapavosti po Strickleru iznosi samo K = 60, što uzrokuje relativno velike gubitke na padu.

tako prag ulaznog organa. Godine 1948 izgrađena je cca 150 m uzvodno pomoćna brana od zemlje i rijeka prebačena drvenim koritom preko ispusta u donje korito, te se otpočelo iskopom temelja za tijelo brane. Nakon kratkog vremena konstatirano je, da nema podloge od kamena na prihvatljivoj dubini. Produbljavanjem iskopa s uzvodne strane naišlo se na sloj pjeskovite gline, koji se protezao na veću dubinu. Na ovome sloju iskop je završen i izgrađeni temelji do dna korita. Cijelu građ. jamu drenirala je za vrijeme rada benzinska pumpa od 3000 l/min, i radilo se bez prekida. Povoljno je bilo što je pomoćna brana postavljena dovoljno daleko uzvodno.



Sl. 11 — Pogled na branu za vrijeme izvođenja II faze
1 — Taložnica 2 — Ispusti 3 — Tijelo brane 4 — Drveno korito od pomoćne brane do ispusta

Injektiranje tunela kontaktnim injekcijama vršeno je niskotlačnim kotlom uz pritisak od 4 at, koji se kontrolirao na izlazu iz kazana. Ukupno je utrošeno u tunelu 80 t cementa ili 12 kg po m^2 obloge. Rupe su bušene samo u tjemenu na razmaku od cca 5 m. Sva procjedna voda bila je odbijena, a nikakovih prslina u betonu nije bilo ni nakon duljeg pogona. Tunel je bio potpuno dovršen početkom 1950 godine.

Radovi na izgradnji brane, ulaznog organa i taložnice počeli su 1947 godine. Dio brane na lijevoj obali, gdje su ispusti, usiječen je u stijeni i izveden pod zaštitom zagata kod male vode. Isto

Paralelno s temeljima izrađeni su odmah i slapište i uzvodni tepih, tako da su velike vode prošle, a da nije nastupilo nikakvo oštećenje. U 1949 god. izgrađeno je tijelo brane. Između dijela brane oko ispusta, koji je bio fundiran na stijeni, i ostalog dijela brane, na popustljivoj podlozi, izrađena je spojnica (fuga) na taj način, da je ploha betona izvedena glatko i premazana slojem gline, a sa uzvodne strane postavljena su 2 katranisana užeta. Samo tijelo izvedeno je u 3 radna bloka, a radne fuge zaptivane su također užetom.

Za betoniranje služio je većinom šljunak, koji je deponirala rijeka kod brane iza velikih voda i koji je zadovoljavao po granulaciji.

Betonska miješalica bila je smještena u slapištu, a beton se prebacivao transporterom direktno u oplatu. Most preko brane bio je dovršen tek u jesen 1950 godine, kada je već centrala bila u pogonu.

Bušenje vodostana, tlačnog rova i strojarnice počelo je također 1948 g. Svi šahtovi bušeni su na taj način, da se odozgo vršilo cca 1/3 iskopa, a odozdo 2/3 iskopa. Transport betona vršio se sa pomoćnog rova na sredini tunela za cijeli vodostan, jer se nije raspolagalo sa dizalicom kod strojarnice. Jedino za donju trećinu tlačnog rova beton se transportirao odozdo. Bile su postavljene remenate kroz cijeli rov, a zbog pomanjkanja mehanizacije morao se beton transportirati u kantama lančanim sistemom, što je zbog velikog broja uključenog ljudstva išlo relativno brzo.

Armatura za torkret u tlačnom rovu postavljena je od gotove žičane unakrst vezene američke mreže veličine otvora 7,5 cm, a debljine žica 6 mm.

S obzirom na slabo iskustvo stavljena je mreža u dva reda, što je kod nabacivanja maltera po sistemu Moser-Kraftban izazvalo velike poteškoće. Ostale su šupljine, koje se nisu dale izbjeći, i tako se nije postigla vodotijesnost. Da bi se to popravilo, vršeno je injektiranje nakon dovršenja torkreta. U prstenima na razmaku od po 2 m bušene su naizmjence po 3 rupe 20 cm duboko u stijenu.

Pošto je beton bio dovoljno porozan, to su preko obloge zapunjene iznutra prema van sve šupljine. Upotrebljen je pritisak do 26 at, a utrošeno je ukupno 6,3 t cementa ili 20 kg po m^2 obloge.

Izvršena probna punjenja poslije injektiranja pokazala su potpuni uspjeh. Dok je gubitak prije injektiranja iznosio oko 15 l/s, nakon dovršenja bio je jednak nuli.

Betoniranje svoda komore zatvarača iza vodostana vršeno je već pod pogonom. I u vodostanu i ovdje provedena su injektiranja u manjem obimu.

U strojarnici je najprije izbušena kaverna do generatorskog poda i izbetonirani su obložni zidovi i svod, a tek onda je dovršeno bušenje za temelje agregata i odvod ispod strojarnice. Šljunak za beton dovozio se prugom sa Drine.

Unutarnji izolacioni zidovi u strojarnici izvedeni su u opeci, a debljina im je 12 cm. Da bi se iskop što više smanjio, razmak do obložnog betona iznosio je 8 cm, što je izazvalo razna vlaženja uslijed prodiranja oborinske vode u krečnjaku. Zbog toga su vršena mnogobrojna naknadna injektiranja. No međutim ni do danas nije postignut potpun uspjeh, tako da se takav način izvođenja nije pokazao zadovoljavajućim. Mogućnost prohodnosti između nosive vanjske konstrukcije i unutarnjih izoliranih zidova treba svakako osigurati. Turbinski prostor uspjelo je injektiranjem potpuno konsolidirati, tako da je danas gotovo potpuno suh, iako nema obložnih zidova.

Izgradnja odvodnog kanala za vrijeme velikih voda nije zadavala posebnih poteškoća.

Najveći problem bila je na cijeloj gradnji mehanizacija, koje gotovo nije ni bilo, te pomanjkanje nekvalificirane radne snage. Zbog toga su bile organizirane razne radne akcije brigada Narodnog fronta, u kojima su sudjelovale i žene. Maksimalni broj zaposlene radne snage kretao se oko 800.

Ukupno je na cijeloj gradnji izvršeno iskopa oko 26 000 m^3, a ugrađeno 13 000 m^3 betona.

Probno punjenje dovodnih organa vršeno je u aprilu 1950 g., a zatim, nakon dovršenja naknadnih injektiranja, centrala je u julu puštena u probni pogon.



Sl. 12 — Torkretiranje tlačnog rova

U jesen 1953 god. izvršio je Hidrotehnički institut iz Beograda mjerenja gubitaka i ispitivanje strojeva. Ova mjerenja su pokazala, da su gubici relativno veći nego se pretpostavljalo, i to iz razloga, što se žbuka u tunelu i tlačnom rovu nije zaglađivala.

Turbine su izrađene kod »Litostroja« a generatori kod »Rade Končara«. Montažu strojeva i leptirice izvršila je »Hidromontaža« iz Maribora, dok je električnu opremu i ustave na brani i taložnici montiralo preduzeće »Elektroremont« iz Sarajeva.

Ukupni troškovi građevinskih radova iznosili su 95 000 000 Din., a troškovi opreme i montaže 37 000 000 Din. Sve po cijenama iz 1949 godine. Preračunato na cijene iz 1953 godine to bi iznosilo oko 700 000 000 Din ili cca 230 000 Din po instaliranom kW.

Zaključak

Iako je ovo jedno od naših malih postrojenja, odigralo je ono svoju ulogu kako u snabdijevanju energijom sarajevskog rajona, tako i u sticanju iskustva za izgradnju većih postrojenja. U 4 godine pogona postrojenje nije pokazalo većih nedostataka u građevinskom pogledu, osim donekle nepovoljnog rješenja izolacije strojarnice. Izvjesne poteškoće zadaje regulacija, koja nije potpuno uspjela, te će se morati izmijeniti novijim konstrukcijama. No treba imati na umu, da su to bile takoreći prve mašine, koje su izgradile naše domaće fabrike.

PROBLEM NAVODNJAVANJA U SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA

Ing. **Frano Hekman**, Split

Po programu F. O. A. pohađao sam tokom 1954 god. u SAD kurs za tehničko navodnjavanje zemljišta. Tom prigodom slušao sam predavanja o toj temi na nekim univerzitetima i obišao veći dio natapnih sistema u Zapadnim državama.

Na osnovu zapažanja, a koristeći postojeću literaturu i publikacije, napisao sam ovaj stručni članak.

S obzirom na važnost koja se u posljednje vrijeme pridaje navodnjavanju u našoj zemlji smatram, da će ovaj članak biti od koristi stručnjacima koji rade na projektiranju i izvedbi natapnih sistema.

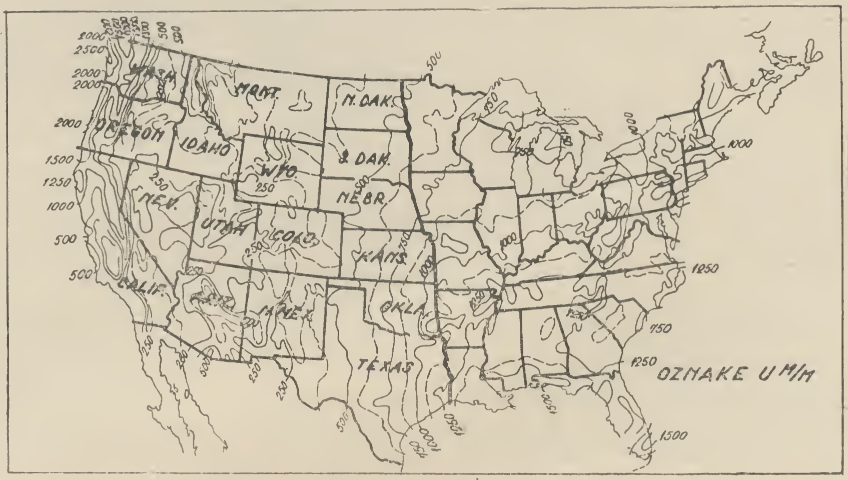
UVOD

Snaga jedne zemlje ovisna je o njenoj proizvodnji. Kapacitet proizvodnje uslovljen je raspoloživim prirodnim izvorima i načinom čuvanja i korištenja tih izvora.

Raspoloživost vodnih količina bila je od velikog utjecaja na pravac i karakter privrednog razvitka Zapada. Nijedan ostali fizički faktor nije imao tolikog udjela u tom razvoju kao voda, jer voda i zemlja — dva glavna prirodna izvora — sačinjavaju zajedno temelj poljoprivrede. Glavna borba na tom području usmjerena je u objedinjavanju ovih dvaju glavnih faktora sa ciljem obilne, napredne i permanentne poljoprivredne proizvodnje.

Ovo je uslovilo razvoj navodnjavanja u tom dijelu svijeta, i može se kazati, da se ono danas nalazi na visokom stupnju tehničkog dostignuća. Rezultat ovog nastojanja ogleda se u tom što više od 70% ukupne poljoprivredne proizvodnje u Zapadnim državama dolazi sa navodnjenih površina.

Opseg i razmjer daljnjeg razvoja zavisan je o načinu čuvanja kao i o pravilnom korištenju ograničenih vodnih izvora.



Slika 1 — Izohijetna karta SAD

Voda, kao jedan od glavnih prirodnih izvora, treba da bude upotrebljena u korisne svrhe. Istovremeno treba brinuti za uklanjanje njenog štetnog utjecaja. Upotreba vode u poljoprivredne, industrijske i saobraćajne svrhe mora biti tako udešena, da ukloni sasvim utjecaj poplava, erozija i zamuljivanja.

Vodoprivredne osnove imaju za cilj da nepristrano usklade sve navedene potrebe i da stvore ravnotežu unutar riječnih slivova. Dobra vodoprivredna politika zahtijeva, da svi ti planovi budu fizički i ekonomski zdravi.

S ovog stanovišta polazi vodna politika američkog naroda, gdje su vodoprivredni problemi zamašni i složeni kao nigdje drugdje. Poplave na velikim rijekama uništavaju obradiva tla i industrijska naselja. Polovina cjelokupnog područja trpi od erozije, a preko 3/5 površine (17 Zapadnih država) nema dovoljno oborina.

FIZIČKI I KLIMATSKI USLOVI

Poljoprivreda Zapada, koja se zasniva na navodnjavanju, ograničena je u svom razvoju uglavnom zbog posebnih fizičkih i klimatskih uslova.

Sunce, kiša, temperatura i vjetar klimatski su faktori, koji na tom području zauzimaju pretjerane razmjere. Oblik zemljine površine i karakter tla imaju iste sklonosti. Sve je ovo pridonijelo, da se jasno istakne razlika između istočnog i zapadnog dijela Sjedinjenih Država.

Oborine na Zapadu su veoma oskudne iz razloga što veći dio zračnih masa, nošenih sa Pacifičkog oceana, ostavlja svoju vlagu na visokoj planini Sierra Nevada, koja se rasprostire u unutrašnjost uzduž pacifičke obale. Preostali dio oborina preuzimaju ostali brdoviti dijelovi Zapada, dok su ravna područja praktično suha. Najbolju sliku o tome daje izohijetna karta cjelokupnog područja (slika 1).

Jedna osmina područja od 17 Zapadnih država ima prosjek godišnjih oborina ispod 250 mm. Jedna četvrtina ima prosjek od 250—375 mm, a druga četvrtina od 375—500 mm.

Daljna jedna petina leži u pojasu oborina od 500—750 mm, što znači pomanjkanje vlage za veći dio kultura, odnosno za sve kulture za vrijeme vegetacionog perioda. Samo preostali dio područja ima 750 mm i više oborina.

Frekvencija suše. Opća karakteristika klime jest promjenljivost. Neki dijelovi Zapada su polu-humidni, neki polu-aridni a neki potpuno aridni. Međutim promjena klime za jedno te isto područje varira od aridne do humidne iz jedne godine u drugu. Ova godišnja promjenljivost vremena stvara veliku opasnost poljoprivredi.

U nekim godinama sezonska razdioba oborina u aridnim područjima je potpuno dovoljna za uspješno poljoprivredno gospodarenje. U drugim godinama oborine su toliko oskudne, da je poljóprivredna proizvodnja upravo nemoguća.

U tim aridnim područjima suhe godine se pojavljuju uzastopno iz godine u godinu, tako da je jedina mogućnost za siguran uspjeh primjena stalnog navodnjavanja. Ovo se odnosi na međubrdska područja i čitav Jugozapad.

Prostrane planinske ravnice Zapada, koje se protežu od Kanade do Mexica, nisu stalno suhe. Ovdje mnoge kulture, poglavito pšenica, mogu uspijevati i bez navodnjavanja. Ali ova područja često trpe potpuno ili djelomično od slabe žetve. Navodnjavanje u ovim područjima ublažava povremene suše i povećava žetveni prinos. Prema tome primjena navodnjavanja u ovim područjima nije apsolutno bitna za poljoprivrednu proizvodnju, već je samo oblik sigurnosti i dopunsko sredstvo.

Sezona bez mraza. Veoma važan faktor u poljoprivredi je dužina sezone bez mraza. Vegetacioni period za proljetne kulture ovisan je o broju dana između posljednjeg proljetnog i prvog jesenjeg mraza.

Uzduž obale Mexičkog zaliva, te u južnoj Arizoni i Californiji, prosječna vegetaciona sezona iznosi 260 dana. Ova duga sezona omogućuje proizvodnju mnogih polutropskih voćaka i zimskog povrća. Mnogi farmeri uzgajaju i dvije kulture na istom terenu u jednoj sezoni.

U visinskim predjelima ova sezona je prosječno manja od 90 dana. U nekim područjima je mraz česta pojava i u ljetnim mjesecima. U tim područjima omogućena je jedino ograničena proizvodnja, izuzevši sijeno i travu.

Mnogi sjeverni dijelovi su manje od 120 dana na godinu bez mraza. Ovo nedvojbeno ograničuje izbor kultura koje mogu uspješno rasti na ovim područjima. Poznato je, da za kukuruz treba sezona od 5 mjeseci a za pamuk 6—7 mjeseci. Međutim veliki je uspjeh postignut u uzgoju i selekciji vrsta, koje se rano razvijaju, a naročito kukuruza.

Morfologija. Više od 60% područja na Zapadu je strmo i brdovito. Ipak su ova brda važna za primjenu navodnjavanja u poljoprivredi, koliko i uvale i ravnice na kojima se navodnjava. Ona prikupljaju i magaziniraju vlagu u obliku kiše i snijega, stvarajući uslove za navodnjavanje.

Strme padine nisu položene samo u brdovitim predjelima, već i u mnogim nisko ležećim područjima, koja su ispresijecana mrežom kanjona.

Konfiguracija tla ograničuje navodnjavanje ne samo uslijed utjecaja strmih padina na kojima je obrađivanje otežano, već i uslijed toga što visoka brda i duboki kanjoni stvaraju barijere između vodnih izvora i plodnih zemljišta. Veliki zahvati moraju katkada biti poduzeti, da se ove prepreke svladaju.

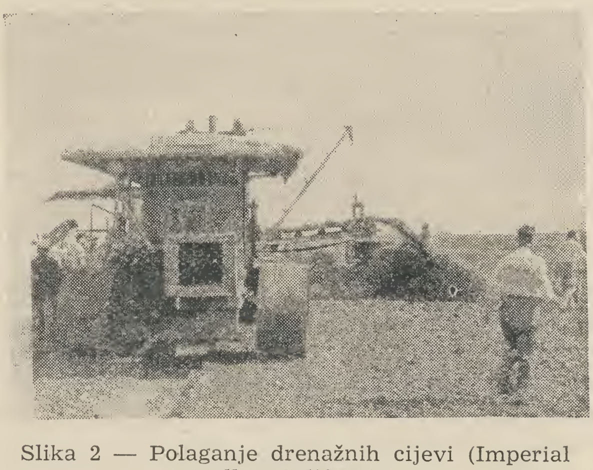
Blag i jednoličan pad je povoljan za navodnjavanje. Lokalne površinske neravnosti se obično uklanjaju ravnanjem, da se omogući jednaka razdioba voda na cijeloj površini.

Kod nekih područja ravnanje brežuljaka može prouzročiti otkrivanje neplodnog tla kao šljunka, pijeska ili kamena. Valovita tla također nisu prikladna za ravnanje; primjena metode umjetne kiše i uzgoj površinskih kultura su katkada jedino sredstvo za zaštitu tla.

Druga skrajnost su ravna tla kao i tla na dnu depresija, koja nemaju mogućnost prirodne odvodnje, pak, prema tome, nisu prikladna za navodnjavanje.

Vrste tla. Veliki postotak tla na Zapadu je nepodesan za obradu.

Plitkih tala ima i u manje strmim područjima, i to na visoravnima i na prostranim vulkanskim naslagama. U međubrdskim uvalama i riječnim slivovima ima dosta dubokih naslaga raznih vrsta tala umjerenog pada, koja su veoma plodna.



Slika 2 — Polaganje drenažnih cijevi (Imperial Valley California)

Duboke naslage pijeska su veoma rasprostranjene. Ova vrsta tla nije podesna za navodnjavanje zbog velike poroznosti i velikih gubitaka vode. Međutim ovakove duboke naslage omogućuju katkada ponovno korištenje akumulirane podzemne vode.

Slatinasta tla javljaju se na ravnim područjima ili na blagim padinama, gdje je odvodnja otežana, prouzrokujući zamočvarenje odnosno visoki podzemni vodostaj. Ona mogu nastati i kao rezultat navodnjavanja, ako se uslijed nedovoljne odvodnje voda zadržava u nižim predjelima. Ova tla mogu biti meliorirana jedino ondje gdje je moguće ostvariti dobru umjetnu odvodnju. Gdje se soli sakupljaju u velikim količinama, zemljište postaje čvrsto i nepropusno, teško obradivo i neplodno. Takovih područja ima mnogo na Zapadu.

Problem odvodnje navodnjenih površina nije ograničen samo na tla sa slabom prirodnom odvodnjom odnosno na tla koja su pod utjecajem zaslanjivanja. I pjeskovita tla mogu prouzrokovati zamočvarenje uslijed procurivanja.

Opće uzeto aluvijalna tla su najprikladnija za navodnjavanje, ako su plodna i položena u blizini plodnosti, ali prikladna za gnojenje. Ova tla se najviše pojavljuju u humidnoj klimi, gdje navodnjavanje nije nužno potrebno.

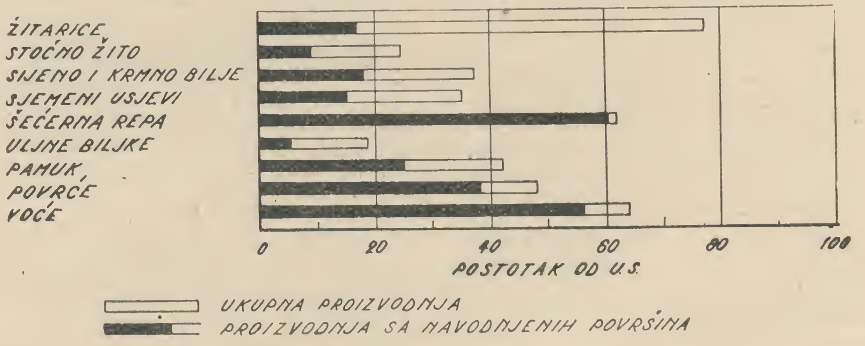
Tamna travnata tla nalaze se prvenstveno u prerijama Texasa. Ona su ravna i navodnjavaju se za rižu.

SADAŠNJE STANJE I MOGUĆNOSTI

I bez navodnjavanja Zapad bi bio važno poljoprivredno područje za suho ratarenje i područje sa prostranim pašnjacima sposobnim za razvoj stočarstva, peradarstva i proizvodnje vune.

Nadvodnjavanjem Zapad je postao važno područje za čitavu zemlju, jer uspijevaju razni poljoprivredni produkti kao voće, povrće, šećerna repa, pamuk i skoro sve ostale kulture.

Zapadno područje daje oko 40% od ukupne poljoprivredne proizvodnje u SAD.



Slika 3 — Poljoprivredna proizvodnja Zapada

vodnih izvora. Međutim neka područja imaju pjeskovitu ili šljunkovitu strukturu, a neka trpe od povremene poplave.

Osim visokih predjela i humidnih područja Sjevernog Pacifika, tla zapadno od 100-og meridiana razvijena su pod utjecajem niskih oborina. Ona nisu isprana od mineralnih biljnih sastojina, kao tla izložena visokim oborinama. Bogata su na vapnu, osobito u predjelima sa plitkim humusom.

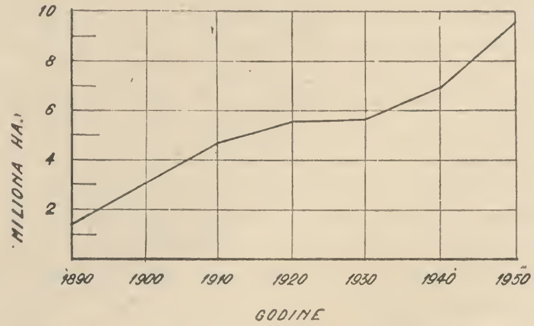
Prerije, černozem i kestenjasta tla dosta su rasprostranjena i spadaju među najplodnija. Na ovim tlima navodnjavanje služi samo kao nadopuna oborina, omogućujući time stabilniji prinos i uvođenje novih kultura i vrsta stoke.

Jako isprana tla pojavljuju se u velikoj mjeri na velikim istočnim ravnicama i u centralnoj dolini Californije. Ova tla imaju zbijenu glinenu podlogu u mrtvici. Prinose bi vjerojatno poboljšali navodnjavanjem, ali bi istovremeno stvorili problem drenaže. Ovakova tla se pojavljuju i u područjima sa humidnom klimom, gdje navodnjavanje nije bitno za kulture. Rendzine su tamno bojena tla, produktivna travnata tla od vapnenog materijala, koja se najviše nalaze u Texasu, u humidnoj i subhumidnoj klimi. Dobri prinosi se postižu i bez navodnjavanja.

Žućkasta podzolska tla položena su u Oklahomi i Texasu. Ona su svijetle boje i vrlo isprana, slabe

Žitarice (pšenica, riža, raž i heljda) daju 78%, stočno žito (kukuruz, zob, ječam i proso) 25%, sijeno i krmno bilje 38%, sjemeni usjevi 34%, šećerna repa 62%, uljne biljke 19%, pamuk 42%, povrće uključujući krumpir i grah 48% i voće 64%. Stočarstvo sa peradarstvom daje oko 35% a vuna 78%.

Velik dio ovih proizvoda dobija se sa navodnjenih površina.



Slika 4 — Razvoj navodnjavanja

Najintenzivnije se navodnjava šećerna repa, t. j. skoro 100%, zatim voće i povrće 80—85%, pamuk 56%, sijeno i krmno bilje 50%, stočno žito i sjemeni usjevi 40% a žitarice svega 22% (većinom riža).

Prema statističkim podacima Ministarstva poljoprivrede proizlazi da je u 1950 god. bilo navodnjeno oko 9,5 miliona hektara zemljišta. Od toga na zapadno područje otpada preko 90%.

Razvoj navodnjavanja od početka do danas prikazan je grafički na temelju podataka po decenijima. Najveći uspon postignut je u vremenu od 1940—1950, kada je navodnjeno oko 2,5 miliona hektara zemljišta.

Opseg i stepen daljneg razvoja navodnjavanja ovisan je uglavnom od tri osnovna faktora: o raspoloživosti prikladnog tla, o raspoloživosti vode, i o stepenu učešća države na polju razvoja navodnjavanja.

Prije učešća federalne vlade, t. j. prije proglašenja Zakona o melioraciji zemljišta (Reclamation Act 1902), aktivnost u navodnjavanju bila je samo predmet privatnih pothvata. Međutim nakon učešća federalne vlade počeli su se izvađati kompliciraniji projekti izvan ciljeva privatnih i zadružnih interesa.

Ono što je bilo učinjeno ranije bilo je lakše svladati, ali budući razvoj postaje sve složeniji, i opseg novo osvojenih površina bit će ovisan prvenstveno o stepenu učešća federalne vlade.

Plan razvoja navodnjavanja sastavljen je kao dio budućih zajedničkih pothvata za mnogostruke svrhe, u obliku vodoprivrednih osnova za pojedine riječne slivove.

Prema ovim podacima na Zapadu ima više tla sposobnog za navodnjavanje nego što ima raspoložive vode.

Izvještaj Odbora za istraživanje prirodnih izvora NRB-a (National Resources Board) iz 1936 god., koji je, prema mišljenju stručnjaka prilično optimistički sastavljen, predvida u konačnom perspektivnom planu navodnjavanje površine od 20,5 miliona hektara, što prekoračuje za 11 miliona ha sadašnje stanje.

Potencijalne mogućnosti ispitala je u posljednje vrijeme federalna Uprava za melioracije (»Bureau of Reclamation«), koja izvađa, projektira i istražuje oko $^{2}/_{5}$ površine označene u izvještaju NRB-a.

Prema toj procjeni preko $^{1}/_{3}$ zemlje koja je sada navodnjena zahtijeva daljnju dopunsku opskrbu vodom.

Opravdano se očekuje, da će za slijedećih 25 godina biti navodnjeno daljnjih 3—4 miliona ha novih površina u sklopu rješenja ostalih vodoprivrednih problema Zapada.

VODNI IZVORI I NJIHOVO KORIŠTENJE

Područje Zapada podijeljeno je u 9 većih i manjih riječnih slivova. — Prosječne godišnje protoke sa ovih površinskih tokova iznose oko 420 milijardi m³.

Ako bi samo jedna polovina te vode bila dovedena na pravo mjesto, bilo bi je više nego dovoljno za natapanje 20 ili više miliona hektara zemljišta predviđenih u konačnom perspektivnom planu. Ali ovaj višak površinske vode javlja se na mjestima gdje zemljište nije podesno za navodnjavanje ili gdje izvedba sistema nije ekonomski opravdana.

U nekim riječnim slivovima, kao Columbia, predvidivo će samo relativno mali dio cjelokupne protoke biti upotrebljen za navodnjavanje. S druge pak strane potreba za vodom pretekla je u mnogim područjima prirodne raspoložive mogućnosti.

Međutim ovo pomanjkanje vode u nekim susjednim slivovima ne mora da bude zapreka za daljnji privredni razvoj toga kraja. U posljednje vrijeme ostvaraju se građevine, koje omogućuju spajanje pojedinih slivova. Ove naprave, koje su već iskušane i tehnički izvedive, omogućit će opskrbu mnogih područja koja nemaju dovoljno vodnih izvora.

Potrebno je osim gornjih pothvata uspostaviti ravnotežu i unutar samog sliva. Vodne količine riječnih slivova se stalno mijenjaju iz godine u godinu, a ovisne su o sušnim i kišnim sezonama. Prosječne godišnje protoke su samo generalna indikacija o raspoloživoj vodi.

Zbog velike promjenljivosti proticajnih količina kod većine vodotoka, puno korištenje vode moguće je jedino reguliranjem oticanja i kontrolom upotrebe.

Prema tome, da se udovolji vodnim potrebama posegnuto je, gdje god je to moguće, za izradom površinskih spremišta.



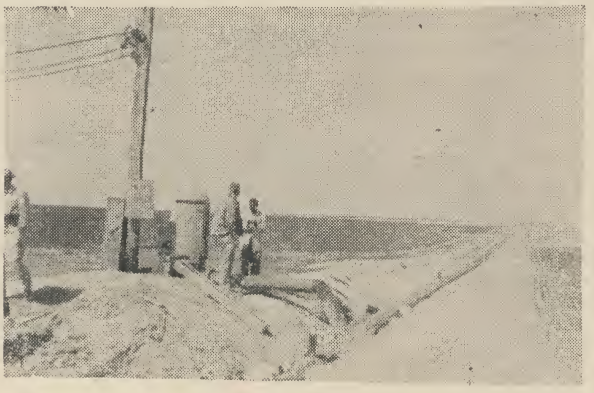
Slika 5 — Tip zemljane brane (Deer Creek Dam — Provo River Project, Utah)

Godišnje varijacije vodnih količina imaju većeg značaja u odnosu na iskorištavanje i razvoj prirodnih mogućnosti, nego sezonske varijacije. Stoga su i sve veće akumulacije dimenzionirane na višegodišnja izravnanja.

Razvoj navodnjavanja tokom godina uslovio je veliku izmjenu u upotrebi materijala i u obimu građenja za to potrebnih objekata.

U prvo vrijeme gradile su se manje kamene zidane brane, od kojih su neke i danas nakon 150 godina u upotrebi. Slijedeći korak naprijed bijaše izgradnja betonskih brana. U to doba izgrađene su ove velike brane: Hoover Dam, Grand Coulee, Shasta Dam i mnoge ostale, koje stoje kao spomenici genijalnosti projektiranja i izgradnje prve po-

lovice ovog stoljeća. Najnoviji korak u daljnjem razvoju usmjeren je na izgradnju zemljanih masivnih brana. Razvojem mehanizacije omogućen je brži i ekonomičniji prebačaj zemljanog materijala,



Slika 6 — Pumpanje podzemne vode (Idaho)

te stoga ovaj tip brane ima u posljednje vrijeme sve veću primjenu.

Kod navodnjavanja zemljišta koriste se pretežno dva glavna izvora: površinska voda ili podzemna voda.

U mnogim dijelovima Zapada kombinacija površinskih i podzemnih vodnih zaliha je veoma važna za opskrbu vodom.

Među izuzecima su Montana i Wyoming, gdje se isključivo upotrebljava površinska voda. U velikoj mjeri, osobito u brdskim predjelima, korisno dolazi kasno topljenje snijega na brdima. U tu svrhu nisu rijetka manja spremišta u brdskim pritocima, koja se pune otopljenim snijegom.

Na Zapadu više od $^3/_4$ cjelokupne navodnjene površine ovisi isključivo od otvorenih vodenih tokova t. j. površinskih voda. Oko $^3/_5$ natapne vode u Pacifičkim državama dobiveno je iz vodenih tokova, a u brdskim državama $^8/_{10}$. Od ukupnog zemljišta koje se navodnjava sa površinskih vodenih tokova oko $^7/_8$ je opskrbljeno gravitacijom, direktnim skretanjem iz vodotoka ili rezervoara, a ostatak je dobiven pumpanjem.

Istaknuta područja, koja isključivo ovise o podzemnoj vodi, leže u Kansasu, Oklahomi, High Plains, Winter Garden i nižim područjima Texasa. Oko 10% navodnjene zemlje na Zapadu dobiva vodu isključivo iz podzemnih izvora. Nebraska, Kansas, Texas i Arizona upotrebljavaju u velikoj mjeri podzemnu vodu, a New Mexico i California imaju široka područja koja ovise isključivo o podzemnoj opskrbi.

Oko 15% navodnjenih područja na Zapadu koriste vodu kombinirano, nadzemno i podzemno.

Površinska voda je upotrebljena gdje god je moguće, a kad izvori presuše, pumpa se iz bunara podzemna voda. U principu podzemna voda se upotrebljava samo kao dopuna ograničene površinske vode.

Uslijed pretjeranog korištenja podzemne vode za poljoprivredu, industrijske i gradske potrebe u mnogim područjima dolazi do ozbiljnog sniženja nivoa podzemne vode. Problem snižavanja podzemnog vodostaja je naročito akutan u mnogim područjima Jugozapadnih država.

Upotreba podzemne vode u Texasu mnogo se povećala u posljednje vrijeme. Broj bunara se je početverostručio zadnjih 10 godina, uz odgovarajuće povećanje natapnih površina. U mnogim područjima praktički sva pumpana voda za natapanje i gradsku upotrebu uzeta je iz podzemnih zaliha, a da pri tome nije zamijenjena drugom. Uslijed toga zapaženo je naglo sniženje podzemnog vodostaja u posljednjih nekoliko godina.

Ostali izvori, osim spomenutih, upotrebljeni su u veoma ograničenoj mjeri za navodnjavanje. Samo oko 1% navodnjene zemlje dobiva vodu sa izvora. Katkada se upotrebljava i kanalska voda za ograničena područja.

Iako je voda od životne potrebe za Zapad, ipak su raspoloživi izvori korišteni bez kontrole i ograničenja. Rasipna i beskorisna upotreba površinske i podzemne vode ozbiljno prijeti mnogim područjima mogućnost daljnjeg razvitka.

Prekomjerni gubici uzduž kanala sprečavaju korisnu upotrebu raspoložive vode. Ti gubici se u glavnom pripisuju procurivanju prigodom dovoda, rasipnoj upotrebi vode kod navodnjavanja, kao i upotrebi izvanrednih količina za isključivo porozna ili slatinasta tla, koja zahtijevaju česta i obilna ispiranja.

DOVOD VODE I OBLAGANJE KANALA

Natapna voda je obično dovedena do mjesta upotrebe otvorenim kanalima, a katkada, kada uslovi terena to zahtijevaju, tunelima, sifonima, akvaduktima i cijevima.



Slika 7 — Dovod vode cijevima (Shoshone River Project, Wyoming)

Dovodni kanali su u prvo vrijeme bili građeni isključivo ručno, bez oblaganja, ne vodeći računa o hidrauličkim i ostalim tehničkim uslovima građenja. Ovakvih kanala ima još i danas u upotrebi u onim državama Zapada, koje se mogu nazvati pionirima natapanja. Kod ovakovih kanala po-

javljuje se često problem erozije, zamuljivanja i čišćenja korova, tako da troškovi održavanja dovode u pitanje njihovo daljnje korištenje.

U novije vrijeme građenju dovodnih kanala posvećuje se puna pažnja, izvodeći ih većinom mašinskim putem, pridržavajući se propisanih hidrauličkih i tehničkih uslova građenja. Oblaganje se primjenjuje u ovisnosti o procjednim gubicima, upotrebljavajući pri tome najekonomičniji tip obloge.

Velike količine vode, određene za navodnjavanje, izgube se uslijed procurivanja kroz neobložene kanale prije nego stignu do mjesta upotrebe. Brane, rezervoari i objekti za razdiobu vode moraju stoga imati veći kapacitet da predvide dodatnu vodu za ove gubitke, a dosljedno tome povećavaju se i troškovi građenja.



Slika 8 — Brana za odvajanje natapne vode sa taložnim basenima (Imperial Diversion Dam-Colorado River, The All-American Canal Project, California — Arizona)

Ta voda nije samo izgubljena, već se često sakuplja na nižim područjima, koja time postaju neplodna i zahtijevaju skupe instalacije za odvodnju. Principi štednje traže da se svi gubici svedu na najmanju mjeru i da se zemljom i vodom gospodari kao i ostalim prirodnim izvorima.

Izvještaji sa 46 natapnih sistema izvedenih po »Bureau of Reclamation« objavljuju, da se od 20 milijardi m^3 raspoložive vodne zalihe za natapanje u 1949 godini približno 5 milijardi m^3, odnosno 25% izgubi u dovodu. Računajući sa godišnjom potrošnjom od 11 000 m^3/ha, sa izgubljenih 5 milijarda m^3 moglo bi se natopiti oko 450 000 ha novih površina. Gubici u nekim pojedinačnim slučajevima iznose čak do 60%. Opće je poznato, da svi ovi gubici nastaju većinom procurivanjem kroz neobložene kanale, iako mjerenja nisu svuda provedena.

Procjedni gubici mogu biti smanjeni primjenjujući sistem oblaganja kanala, odnosno primjenjujući poseban postupak na pojedinim dionicama kanala. Od 200 000 km kanala izgrađenih u 17 Zapadnih država manje od 8 000 km, odnosno samo 4% je obloženo.

Glavni razlog ovom nedostatku leži u pretjeranom koštanju sigurnog načina oblaganja. Stoga je rješenje ovog problema ovisno o razvoju tehnike oblaganja, i o metodama rada, koje uvjetuju niske cijene koštanja da oblaganje bude ekonomski izvedivo.

Mjerenje gubitaka

Prije svakog oblaganja u Americi se vrše opsežna prethodna mjerenja radi ustanovljenja stepena procurivanja. Opsežna oblaganja su opravdana jedino u slučaju kada se radi o osjetljivim gubicima vode.

Da se postigne puna korist od oblaganja, treba prije projektiranja i izvedbe novih kanala unaprijed utvrditi vjerojatne gubitke. Ovi procjedni gubici mogu se utvrditi prije izvedbe kanala, utvrđivanjem prosječnog koeficijenta propusnosti tla na čitavoj dužini trase. Ovaj prosječni koeficijent, dobiven pomoću terenskih opita, upotrebljen je kao baza za računanje procjeđivanja na temelju zato poznatih formula, odnosno laboratorijskih metoda.

Za ustanovljenje propusnosti tla upotrebljava se posebna sprava, zvana »permeametar«, bunarskog tipa.

Kod već izvedenih kanala stvarni gubici utvrđuju se direktnim mjerenjem. Kod malih gubitaka u odnosu na ukupnu protoku kanala velika pažnja se posvećuje mjerenju, da bi se postigli zadovoljavajući rezultati.

Za mjerenje gubitaka nastalih procurivanjem na izvedenim kanalima u upotrebi su slijedeće metode:

metod zagrađivanja,
metod dotoka i otoka,
metod izravnog mjerenja.

Metod zagrađivanja je danas najtočniji i najpouzdaniji. Kanal se na određenoj dužini ogradi na dva mjesta vodonepropusnim materijalom i mjeri se sniženje razine vode u odnosu na vrijeme. Gubici se izražavaju u količini vode na jedinicu vlažene površine za 24 sata osmatranja.

Dopuna ove metode sastoji se u stalnom dodavanju potrebne vode da se održi konstantni vodostaj u osmatranom dijelu kanala. Količina dodane vode jednaka je procjednim gubicima.

Metod dotoka i otoka sastoji se u mjerenju vode na početku i završetku pojedine dionice kanala. Razlika predstavlja gubitak uslijed procurivanja. Mjerenje vode vrši se pomoću raznih vrsti tipskih prelijeva, većinom pomoću Parshallovog slapa, ukoliko se mjerenja vrše stalno. U protivnom se mogu upotrebiti druge poznate metode za određivanje protoke.

Mjerenje procurivanja vrši se i izravnim putem pomoću za to izrađenih sprava. Ima više vrsta sprava za mjerenje, a najjednostavniji tip se sastoji od jedne cijevi sa proširenim dnom, određene površine, koja se položi u kanal na određeno mjesto. Cijev se ispuni vodom i pad vodene površine obilježava gubitak u procjeđivanju.

Ovaj je metod mjerenja prilično nesiguran, a upotrebljava se jedino radi određivanja lokacije najvećih gubitaka.

Načini oblaganja

Prvi uvjet kod oblaganja natapnih kanala je vodonepropusnost. Zatim dolazi otpornost protiv oštećivanja djelovanjem prirodnih sila kod erozije, mraza i sl., a zatim sigurnost od mehaničkog oštećivanja prigodom čišćenja.

Prema tome, idealni materijal za oblaganje mora imati svojstvo vodonepropusnosti, otpornost protiv oštećivanja, dobre hidrauličke osobine i nisku cijenu koštanja.

U Americi se u upotrebi nalazi više vrsti materijala, ali osnovni materijali, koji imaju najvišu primjenu, jesu cement, asfalt i zemlja.

1. B e t o n s k a o b l o g a. Stručnjaci u Sjedinjenim Američkim Državama smatraju oblaganje kanala betonom od portland cementa najpodesnijim načinom oblaganja natapnih kanala.



Slika 9 — Dovodni natapni kanal sa betonskom oblogom (Arizona)

Usprkos činjenici, da je betonska obloga skuplja nego ostale, trajnost i minimalni troškovi održavanja daju joj prednost pred ostalim vrstama obloga. Prednost leži u izvrsnim hidrauličkim karakteristikama, jer se, smanjenjem koeficijenta hrapavosti i povećanjem brzine, postizava ekonomičnost profila. Osim toga eliminiran je razvoj korova, što se povoljno odražava na proticajni kapacitet i na troškove održavanja.

Proučavajući stanje dosada izvedenih betonskih obloga, može se zaključiti, da je njegova prosječna trajnost oko 40 godina, ukoliko se ispravno projektira i izvede.

Međutim postoji i niz nedostataka, koji se pripisuju ovoj vrsti obloga. Nepovoljne terenske prilike, pretjerani hidrostatski pritisci, mraz, promjena temperature i vlage, slaba kvaliteta betona, griješke u projektiranju ili izvedbi mogu da budu od velikog utjecaja na trajnost betonske obloge.

Katkada će biti potrebno primijeniti betonsko oblaganje u područjima koja trpe od povremene visoke podzemne vode. Kad je kanal prazan, ili kad je razina vode u kanalu niska, visoka razina podzemne vode može rezultirati u poremećenju ravnoteže hidrostatskog bočnog tlaka, koje je dovoljno da ošteti betonsku oblogu. U područjima gdje često dolazi do smrzavanja, obloga kanala može biti ozbiljno oštećena uslijed povećanja obujma saturiranog tla. U ovakovim i sličnim prilikama mora se izvesti drenaža temeljnog tla.

Debljina betonske obloge varira od 5 do 10 cm u ovisnosti o veličini kanala.

Točan izbor koeficijenata hrapavosti je veoma važan faktor prigodom projektiranja. On je kod betonskih obloga obično uzet sa n = 0,014. Međutim, taj koeficijent nije stalan i on treba da bude baziran ne na stanju površine nakon izvedbe, već na stanju površine nakon višegodišnje upotrebe. Ako je natapna voda bistra i ako iskustvo pokazuje da mahovine i alge ne uspijevaju, onda uslovi ostaju isti i nakon upotrebe. Međutim, ako je natapna voda mutna i dolazi do taloženja pijeska i mulja, što pogoduje razvoju mahovina i alga, uslovi se postepeno mijenjaju. U ovom slučaju nije opravdana izrada glatke površine.

Dilatacione reške se izrađuju na određenim razmacima, dubine oko 1/3 debljine obloge. Ako su ove reške pravilno raspodijeljene, pukotine se obično pojavljuju na tim mjestima.

Uzdužne i poprečne reške su potrebne u kanalima, koji imaju omočeni obod preko 9 m. Razmak poprečnih rešaka preporuča se na rastojanju od 2—4,5 m, a ovisan je od veličine kanala i debljine obloge. Praksa je da se zanemaruje ispunjenje rešaka iz razloga što raspoloživi materijal za ove svrhe ne zadovoljava i što se veći dio pukotina postepeno ispunjava muljem, koji taloži u vodi.

Betonsku oblogu treba katkada pojačati željeznom armaturom. Postoji razlika u mišljenjima američkih stručnjaka u pogledu upotrebe, odnosno primjene armiranja.

Neki tvrde, da je upotreba željezne armature opravdana zbog dužeg trajanja i smanjenja troškova građenja. Upustva »Bureau of Reclamation« traže, da se izbjegava željezna armatura gdje god je to moguće, osim pod specijalnim uslovima, kada sigurnost to traži. Prisustvo željeza (0,25—0,30% obujma betona) ne daje apsolutnu sigurnost protiv pucanja obloge. Veća čvrstoća se može postići ekonomičnije povećanjem debljine obloge.

Glavna uloga željezne armature leži u reduciranju širine nastalih pukotina, što se odražava u smanjenju procurivanja kao i u sprečavanju pucanja uslijed nepredviđenih griješaka, kada ploče naiđu na nesigurnu podlogu.

Način izrade betonskih obloga ovisan je prvenstveno o veličini kanala, a zatim o dužini oblaganja.

Kod velikih kanala u Americi dolazi u obzir isključivo upotreba posebnih strojeva, koji daju oblik poprečnog presjeka kanala. Ovaj stroj, koji klizi po tračnicama položenim na bermi kanala, izrađuje odjednom čitavu betonsku oblogu. Prosječni dnevni učinak je oko 300—400 m kanala, odnosno 10 000 m² obloga. Ovi strojevi se s uspjehom upotrebljavaju već preko 15 godina.

Upotreba ovih strojeva nije opravdana kod izgradnje kratkih dužina većih kanala.

Ekonomičnija je postepena izrada pojedinih dijelova upotrebom posebne oplate.

Mali kanali se obično rade ručno ili jednostavnim strojevima. Ako je dužina ovih kanala dosta velika, onda se korisno mogu upotrebiti strojevi kao i za izradu velikih kanala, samo jednostavniji i bez tračnica. Stroj, koji klizi po iskopanom terenu, vuče se pomoću željeznog užeta. Učinak ovih manjih strojeva iznosi 100—150 m kanala dnevno, odnosno oko 600 m² obloge.



Slika 10 — Izrada betonske obloge (Imperial Valley, California)

Miješanje i priprema betona vrši se mašinski na samom gradilištu. Beton se prebacuje u stroj drvenim žljebovima, transporterima, a katkada i dizalicama.

U upotrebi je još i montažno oblaganje pomoću gotovih betonskih blokova i ploča.

Ovo oblaganje ima ograničenu primjenu i dolazi u obzir samo kod manjih kanala, odnosno prigodom obnove i popravka kratkih dijelova većih kanala. Manji blokovi mogu se upotrebiti u krivinama, a veći u pravcima. Najobičnije dimenzije su 20×60 cm sa 5 cm debljine. Spojevi su ispunjeni cementnim mortom ili asfaltom ukoliko obloga treba da spriječi procurivanje. Nije potrebna velika vještina i oprema pri radu.

S obzirom na sporu izvedbu i skupoću, ova vrst obloga nije za širu primjenu kod natapnih kanala u Americi. Nije poznata trajnost iz razloga što se ovaj način oblaganja primjenjuje tek u posljednje vrijeme.

Torkret, kao posebna vrst obloge od cementnog morta, upotrebljava se u Americi za nova oblaganja i za površinsku obradu već dotrajale i popucane betonske obloge.

Torkretiranje se vrši pomoću posebnih strojeva, koji su lako pokretljivi. Pijesak i cement se miješaju automatski: pod pritiskom iz gumenog crijeva, koje je snabdjeveno rasprskivačem, izlazi u mlazovima cementni mort pomiješan sa zrakom. Veličina zrna u agregatu ne smije biti veća od 4 mm. Agregat treba sadržavati od 3—5% vlage radi lakšeg rada stroja. Smjesa morta je u omjeru 1 : 4. Koeficijent hrapavosti uzima se sa 0,015.

Čvrsta podloga je važan preduslov za trajnost ove obloge. Kod zemljanog materijala je ravnanje i nabijanje bezuslovno potrebno. Prije izrade obloge podlogu treba dobro navlažiti, da ne dođe do upijanja vlage iz svježeg morta.

Debljina obloge obično varira od 15 do 25 mm, a katkada i do 50 mm. Iskustvo pokazuje da debljinu obloge nije moguće točno unapred normirati.

U praksi se obično uzima obloga od 25 mm debljine.

Upotreba željeza za pojačanje obloge je veoma rijetka, t. j. samo ondje gdje zahtjevi sigurnosti to traže. S obzirom na malu debljinu obloge teško je centrirati željezo u sredini obloge. Ukoliko željezo nije točno centrirano i oklopljeno cementnim mortom, svrha nije postignuta.

U prvo vrijeme prigodom izvedbe nisu se ostavljale dilatacione reške, već su se naknadne pukotine ispunjavale vrućim asfaltom.

Međutim sadašnji propisi zahtijevaju izradu poprečnih rešaka na udaljenosti od 2—3 m.

Ovaj način oblaganja se sa uspjehom upotrebljava već preko 20 godina u mnogim krajevima Zapada, a pogotovo u Jugozapadnim državama.

2. Asfaltna obloga. Kod oblaganja kanala važnu ulogu u Americi igra asfalt. On se upotrebljava u raznim oblicima, a glavni je cilj njegove upotrebe vodonepropusnost.

Postoji više vrsta asfaltnih obloga i to:

a. Asfaltni beton (vruća mješavina) je smjesa asfalt-cementa i agregata pomiješana i nabijena u vrućem i plastičnom stanju. Ova smjesa se razastire u kanalu putem posebnih mašina, koje se kreću po iskopanom kanalu. Debljina obloge varira od 5—7 cm. Ne preporuča se za kanale kapaciteta iznad 3 m³/sec. Koeficijent hrapavosti uzima se sa 0,016.

Posebna izrada reški (fuga) nije potrebna. One se izvode samo po završetku dnevnog rada.

Priprema tla se sastoji u poravnanju podloge (kao kod betonskih obloga). Da se spriječi rast korova, upotrebljava se vodena rastopina »polyborclorida« s kojom se polijeva pripremljena podloga. Upotrebljava se oko ¼ kg polyborclorida na m² površine. Osim ove kemikalije za sterilizaciju tla upotrebljava se i natrijev klorat ili borna kiselina.

b. Prekrivena asfaltna membrana se sastoji od tankog sloja (približne debljine 4—7 mm) specijalnog asfalta, koji se u vrućem stanju (205° C) štrca na pripremljenu podlogu, u cilju stvaranja vodonepropusne barijere, a zatim zaštićuje slojem zemlje ili šljunkom.

Poslije grubog iskopa površina se priprema za asfaltiranje laganim valjcima. Za izradu membrane upotrebljavaju se posebne naprave, koje štrcaju pod pritiskom asfalt u tekućem stanju.

Na 1 m² troši se približno 5 kg asfalta.

Nekoliko minuta poslije izrade membrana se pokriva odabranim materijalom. Debljina i vrst materijala ovisna je o svrsi zaštite. Voda, sunce, vjetar, stoka i slični faktori utječu na trajnost membrane.

Ako je brzina vode do 0,40 m/sek, iskopano tlo može da posluži za prekrivanje. Međutim ako iskopani materijal nije prikladan, upotrebljava se drugi, veće prionjivosti i čvrstoće.

U kanalima sa većom brzinom vode, šljunkoviti pokrivači mogu biti položeni povrh sloja zemlje u debljini od 5—12 cm. U svakom slučaju pokrivač ne smije biti tanji od 30 cm.

Trajnost membrane ovisna je o održavanju pokrivača nad membranom.

Prednost ove obloge leži u tome što se može izvesti za vrijeme hladnog i vlažnog vremena, koje se javlja u sezoni kada se ne navodnjava, i to u relativno kratkom vremenu.

c. Asfaltni makadam se upotrebljava kao ustaljen pokrivač asfaltne membrane. Sloj šljunka 5 do 8 cm debljine, položen preko prethodno izvedene membrane, penetrira sa vrućim asfaltom.

Ovakova izrada, položena direktno na podlogu bez izrade membrane, odolijeva eroziji, ali se ne postizava vodonepropusnost.

Prave se još uvijek pokusi, uglavnom zbog načina izvedbe i upotrebe materijala.

d. Montažna asfaltna membrana se upotrebljava u posljednje vrijeme, jer izbjegava upotrebu vrućeg materijala, koji zahtijeva specijalne strojeve i vješto osoblje pri radu. Gotova membrana se postavlja na isti način kao i krovna ljepenka, t. j. sa prekrivenim i zalivenim spojevima. Da se membrana zaštiti, pokriva se zemljom i šljunkom na već opisan način.

Ranije je ova membrana bila pojačana platnom, jutom, vlaknom ili azbestnim listovima. Međutim, sada je u upotrebi jedna vrst, koja se izrađuje od čvrstog papira debljine 4 mm premazanog asfaltom. Širina jedne role je 1 m a dužina 10 m. Papir se polaže uzduž ili poprijeko na os kanala, sa preklopom na spojevima od 5 cm, koji se zamažu livenim asfaltom.

Ostale vrsti asfaltnih obloga nisu u širokoj upotrebi.

e. Hladna emulzija traži povoljne vremenske prilike za izvedbu. Ova vrst obloga podleži eroziji, stoga se ne može primjeniti kod kanala sa većom brzinom.

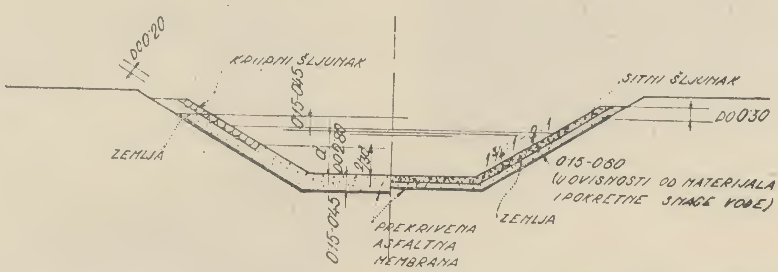
f. Pneumatska izrada asfaltnih obloga se sastoji u upotrebi strojeva koji komprimiranim zrakom štrcaju smjesu finog pijeska i asfalta. Spora izrada, visoke cijene koštanja i niska rezistencija protiv erozije su nedostaci ove metode rada.

g. Injektiranje. Hladna emulzija ili vrući asfalt uštrcava se u šupljine, spojeve i pore postojećih kanala zbog sprečavanja gubitaka u dovodu.

Ova se metoda korisno upotrebljava samo za lokalnu zaštitu i ne može se primijeniti na šira područja.

3. Obloga od zemljanog materijala. Obloga od prirodnog materijala, koja se uveliko primjenjuje u Americi, često je ekonomičnija za sprečavanje procurivanja i stabilizaciju pokosa nego bilo koja druga vrst obloge, ukoliko je materijal podesan za izradu. Kohezivna tla imaju široku mogućnost primjene.

U upotrebi se nalaze slijedeće vrste:



Slika 11 — Obloga sa prekrivenom membranom (karakterističan poprečni presjek)

a. Obloga od tanko nabijene zemlje. Ova se obloga sastoji od tankog sloja nabijene zemlje debljine 15—30 cm, zaštićenog šljunkovitim ili zemljanim pokrovom iste debljine. Debljina ovih slojeva ovisna je o vrsti upotrebljenog materijala, brzini vode i uslovima rada.

Za izradu obloge dolazi u obzir mršava i masna glina, odnosno pijesak sa glinovitim primjesama. Masna glina nije prikladna za kanale koji su povremeno suhi, jer dolazi do pucanja. U tom slučaju potreban je deblji zaštitni sloj.

Prije upotrebe materijal treba laboratorijski ispitati i utvrditi maksimalnu gustoću, optimalnu vlagu i stepen propusnosti. Konstruktivni zahtjevi moraju biti bazirani na prethodnim terenskim pokusima.

Nabijanje tankog sloja vrši se pomoću specijalnih pokretnih valjaka, t. zv. ježeva, koji se vuku uzdužno ili poprečno na os kanala, već prema izboru načina rada, a koji uglavnom ovisi o težini valjka.

Prije izrade obloge treba izvršiti iskop kanala povećan za ukupnu debljinu predviđene obloge. Nagibi pokosa su obično $1^1/_2 : 1$.

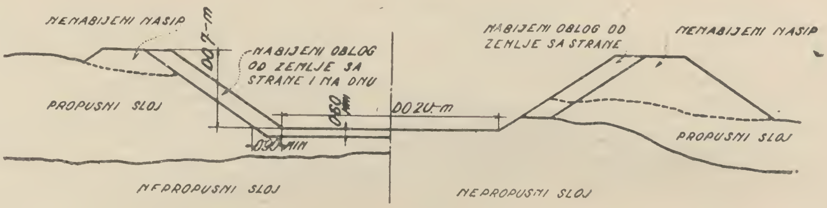
b. Obloga od gusto nabijene zemlje. Ova vrst obloge se izvađa od odabranog materijala iz iskopa, koji se nabija u horizontalnim slojevima debljine

13 cm. Debljina sloja iznosi oko 90 cm sa strane a na dnu 60 cm. Ako se radi o izradi velikih količina, gdje mogu doći do upotrebe strojevi, i ako je iskopani materijal upotrebljiv bez dovoza iz pozajmišta, onda je izrada ove obloge ekonomski opravdana. Prikladni materijal je šljunak i pijesak sa glinenim primjesama, radi niskog stepena propusnosti i dobre otpornosti protiv erozije. U područjima s visokom podzemnom vodom i kod rastegljivog materijala ova vrst oblaganja ima prednost pred betonskim oblaganjem.

Ova vrst oblaganja primjenjuje se samo kod velikih kanala, pridržavajući se nagiba pokosa 2 : 1.

c. Obloga od rahle zemlje. Ova se obloga izrađuje od odabranog materijala iz iskopa, koji je prethodno fino granuliran i sortiran, a zatim razastrt u sloju od 30 cm debljine bez posebnog nabijanja.

Nije potrebno nikakvo prethodno planiranje podloge. Prije upotrebe treba vršiti pokuse za



Slika 12 — Obloga od gusto nabijene zemlje

svaku pojedinu vrstu tla i ustanoviti stepen propuštanja.

Nedostatak leži u tome što je nezaštićena obloga izložena oštećivanju, te su prema tome troškovi održavanja veliki.

d. Obloga od bentonita. Bentonit je zemljani materijal, koji sadrži veliki postotak specijalne vrsti gline, koja ima svojstvo upijanja vode uz povećanje volumena i nepropusnost.

Kemijski čisti bentonit je prirodni aluminijski hidrosilikat. U prirodnim naslagama rijetko se nalazi kemijski potpuno čist.

Kao materijal za oblaganje može korisno biti upotrebljen, ako se nalazište nalazi u neposrednoj blizini kanala.

U upotrebi se nalaze dva načina oblaganja i to:

Izrada membrane od bentonita debljine 3—5 cm sa zaštitnim zemljanim ili šljunkovitim pokrovom debljine 15—30 cm. Drugi način se sastoji u upotrebi smjese pijeska i bentonita i izradi obloge debljine 5—10 cm. U ovoj smjesi se upotrebljava od 10—25% bentonita u ovisnosti o prethodnim laboratorijskim ispitivanjima. I kod ovog načina oblaganja preporuča se upotreba zaštitnog sloja.

Praksa je pokazala, da nakon 7—10 godina upotrebe procjedni gubici u kanalima postaju isti kao i prije izrade obloge.

e. Proces taloženja. Taloženje mulja može značajno smanjiti procurivanje kod neobloženih kanala. Ovaj proces može biti prirodan ukoliko voda sadrži mulja. U protivnom može se zamuljivanje postići na umjetni način dodavajući povremeno natapnoj vodi na pojedinim dionicama izvjesne količine finog mulja.

Učinak ovog procesa ovisan je o vrsti upotrebljenog materijala, o brzini vode u kanalu i o sastavu tla, u kojem je kanal izgrađen.

Iako se ovaj proces ne može smatrati ustaljenom metodom oblaganja, ipak se može s uspjehom primijeniti kod pjeskovitih ili šljunčanih formacija.

Prema podacima izvedenih pokusa ustanovljeno je smanjenje gubitaka od 20—45%.

S obzirom na nisku cijenu koštanja, ova se metoda preporuča na mjestima gdje se upotrebljava mutna voda, odnosno gdje se naslage gline i mulja nalaze u neposrednoj blizini gradilišta.

f. Mehanička stabilizacija tla. U mnogim slučajevima gubici uslijed procurivanja mogu biti smanjeni nabijanjem pokosa i dna kanala, čime se postizava veća gustoća prirodnog tla. Ovaj se postupak sastoji u brananju dodavanjem vlage i u nabijanju tla do željene gustoće pomoću ježeva, valjaka i ostalih prikladnih strojeva. Potrebna vlaga i gustoća se ustanovljuje laboratorijskim pokusima.

Ovaj postupak, nazvan »mehaničkom stabilizacijom tla«, može se sa uspjehom primijeniti kod zemljišta, koje ima pukotine ili rupe od korijena.

g. Hemijska stabilizacija tla. Za oblaganje upotrebljava se specijalno pripremljena smola u prašini miješana sa zemljom.

Količina upotrebljene smole ovisi o vrsti tla i varira od 1—3%. Budući da smola utječe na tlo na način da odbija vodu, to se voda mora dodati zemlji prije smole.

Pokusi su pokazali, da nakon petogodišnje upotrebe ova vrst obloge nije više upotrebljiva.

Natrijev silikat u kombinaciji sa natrijevim i kalcijevim kloridom upotrebljava se za stabilizaciju pjeskovitih tala. Nakon upotrebe ovih rastopina tlo postaje tvrdo i nepropusno. Međutim primjena ove metode nije prihvatljiva zbog visoke cijene koštanja kemikalija i zbog toga što cementirano tlo nije otporno protiv mraza i promjena vlage.

Upotreba smole i kemikalija ima zasada samo ograničenu primjenu i ne preporuča se za opću upotrebu bez prethodnih istraživanja i pokusnih radova.

h. Obloga od zemlje i cementa, može se korisno upotrebiti na mjestima gdje se tlo sastoji od pijeska ili ostalog materijala prikladnog za upotrebu. Utrošak portland cementa varira od 10—18% vo-

lumena smjese, a ovisan je o vrsti upotrebljenog agregata.

Debljina obloge je 10—15 cm, a nagibi pokosa $1^1/_2 : 1$.

Način izrade je isti kao kod betonskog oblaganja.

Pregledom izvedenih objekata nakon dvogodišnje upotrebe konstatirana su izvjesna oštećenja i oko 10% obloge treba popraviti. One dionice na kojima je utrošeno manje cementa više su oštećene, i to uslijed vremenskih nepogoda. Rezultati izvedenih mjerenja dali su gubitke od 2,5 l/m² za 24 sata, što ukazuje da se izvedena obloga može uz izvjesne troškove održavanja koristiti uspješno još niz godina.

4. Osim naprijed spomenutih materijala u posljednje vrijeme proučava se mogućnost upotrebe sintetičnih plastičnih masa. Oblaganje kanala sa plastičnim masama dolazi do izražaja razvojem ove vrsti industrije. Oblaganje plastičnim masama vrši se na isti način kao izrada montažne asfaltne membrane sa zaštitnim slojem od zemlje ili šljunka, sa zadatkom da zadrži materijal na mjestu i zaštiti isti od nevremena i stoke. Velika prednost leži u tome što je materijal lagan i troškovi prevoza jeftini.

Za ovu svrhu najviše dolaze do upotrebe listovi od »polyethylena« u rolama 50—150 cm širine.

Sadašnja primjena ove vrste oblaganja ograničena je samo na laboratorijsko ispitivanje u »Bureau of Reclamation« u Denveru. Prethodni rezultati su pokazali visoku otpornost protiv pucanja i trulenja.

Ustanovljeno je da se zaštitni sloj od zemlje i šljunka može održati jedino kod nagiba pokosa $2^1/_2 : 1$ do $3 : 1$, što kod velikih kanala uveliko povećava kubature iskopa.

Budućnost upotrebe plastičnih materijala ovisna je o rezultatima istraživanja, o cijeni koštanja, kao i o razvoju industrije za ovu svrhu.

Ekonomska analiza

Izvedba obloge je ekonomski opravdana ako je korist od oblaganja veća ili jednaka godišnjem koštanju obloge. Stoga je izbor obloge ovisan o troškovima građenja i dužini trajanja.

Troškove građenja treba točno proračunati na temelju postojećih propisa i uslova o građenju, izabravši najpovoljnije hidrauličke elemente, koji odgovaraju odabranoj vrsti obloge.

Na temelju ovih elemenata, koje propisuje »Bureau of Reclamation«, sastavljen je priloženi dijagram, koji za izvjesnu oblogu prikazuje odnos glavnih dimenzija kanala u ovisnosti o kapacitetu kanala (slika 13).

Trajanje obloge određuje se na temelju stečenog iskustva.

Korist od oblaganja odražava se: u uštedi natapne vode, u smanjenju troškova održavanja, u povećanju vrijednosti susjednog zemljišta uslijed smanjenja zamočvarenja i u smanjenju troškova izgradnje drenažnog sistema.

Količinu ušteđene vode, koja bi bila izgubljena uslijed procurivanja, lako je ustanoviti na temelju već opisanih metoda. Njena vrijednost ovisna je o vremenskom potrošku za vrijeme sezone navodnjavanja i o načinu snabdijevanja. Na osnovu gornjih postavki uzima se srednja godišnja vrijednost po jedinici mjere.

Troškovi održavanja moraju se procijeniti na temelju podataka sa postojećih kanala, koji su u upotrebi pod istim klimatskim, geološkim i poljoprivrednim uslovima. Ovi se troškovi stalno mijenjaju, a ovisni su o trošnosti obloge, te, prema tome, treba odabrati prosječno koštanje.

Ostali elementi procjenjuju se na osnovu podataka o vrsti i konfiguraciji tla te dosadašnjih iskustava za svako pojedino područje.

Ova se ekonomska analiza može izraziti formulama.

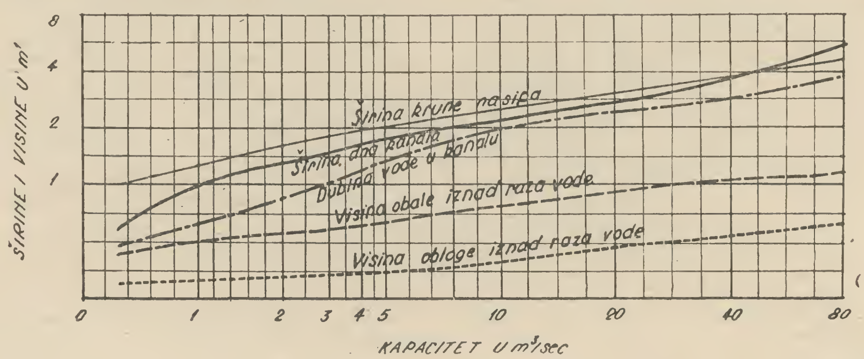
Neka znači:

K = koštanje oblaganja (Din/m²),

p = gubici u procurivanju kod neobloženog kanala (m³/m² za 24 sata),

P = gubici u procurivanju kod obloženog kanala (m³/m² za 24 sata),

o = omočeni perimetar kod neobloženog kanala (m),



Slika 13 — Dimenzije obloženih kanala u odnosu na kapacitet

O = omočeni perimetar kod obloženog kanala (m),
U = ukupni perimetar obloge (m),
d = broj natapnih dana u godini,
V = vrijednost vode (Din/m³),
L = dužina kanala (m),
T = trajanje obloge (god.),
Z = korist od oblaganja nastala uslijed smanjenja zamočvarenja susjednih zemljišta,
D = smanjenje troškova izgradnje (godišnja vrijednost) drenažnog sistema,
R = godišnja ušteda u rukovanju i održavanju nastala uslijed izvedenog oblaganja.

Godišnja vrijednost izgubljene vode, uslijed procurivanja neobloženih kanala, može se izraziti formulom:

$$o\ L\ p\ d\ V \quad \text{Din}, \quad \text{a za obložene}$$

$$\text{kanale: } O\ L\ P\ d\ V \quad \text{Din.}$$

Godišnja ušteda, nastala uslijed smanjenja gubitaka na procurivanju, iznosi:

$$o\ L\ pdV - O\ L\ P\ d\ V = L\ d\ V\ (op - OP)$$

a ukupna godišnja korist od oblaganja iznosi:

$$L\ d\ V\ (op - OP) + Z + D + R.$$

Godišnji troškovi oblaganja iznose:

$$\frac{U\ L\ K}{T}$$

Ako je oblaganje ekonomski opravdano, godišnji troškovi ne smiju biti veći od ukupne godišnje koristi, koja se pojavljuje oblaganjem.

Stoga:

$$\frac{U\ L\ K}{T} \leqq L\ d\ V\ (op - OP) + Z + D + R$$

$$K \leqq \frac{T}{UL}\ [L\ d\ V\ (op - OP) + Z + D + R]$$

Pomoću ove formule može se približnom točnošću ustanoviti opravdanost izgradnje odabrane vrsti obloge.

(Nastavit će se)

TLAČNE CIJEVI OD PREDNAPREGNUTOG BETONA

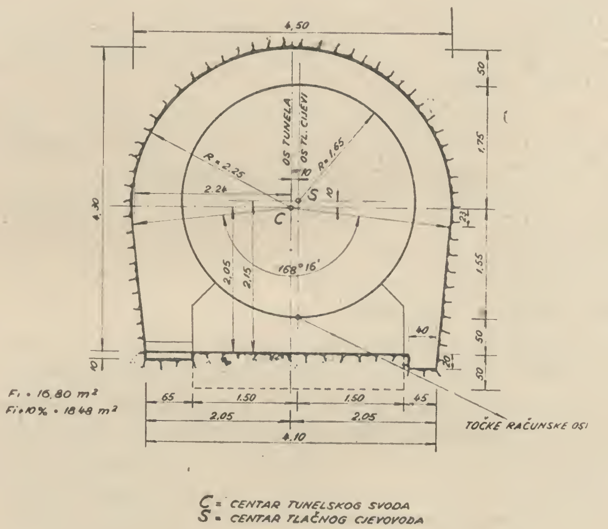
Ing. Raul Sabljak, »Elektroprojekt«, Zagreb

Pri projektiranju postrojenja HE Gojak kod Ogulina postavljeno je pitanje mogućnosti zamjene čelične tlačne cijevi sa cijevi iz prednapregnutog betona, jer je postojala nada da bi se upotrebom betona namjesto čelika dala postići znatna ušteda. Te su nade temeljene na cijeni čeličnog lima u 1953 godini, koja se je kretala, prema prvim tada dobivenim podacima, oko 280 Din/kg. Da bi se dobila točnija slika o rentabilnosti prednapregnutog betona kod tlačnih cijevi, detaljno su prostudirani dokumenti (naročito talijanski) i konzultirani inostrani stručnjaci, pa je na osnovu toga razrađena opširna kalkulacija. Ovaj prikaz ima za cilj da u skraćenom obimu prikaže rezultate tih studija.

Postrojenje HE Gojak ima snagu 48 MW, koju daju 3 agregata sa 50 m³/sek na padu od 135 m, a napaja se vodama Mrežnice i Dobre pomoću tlačnog cijevnog voda ukupne razvijene dužine 740 m, promjenljivog dijametra od 3,40 do 1,80 m (čelična varijanta), čija je računska težina oko 960 t. (Detaljan opis vidi u »Građevinaru« broj 6 iz god. 1953.)

Projektom su prostudirane tri varijante čeličnog cijevnog voda u cilju da se nađe najjeftinija, koja je tada uporeďena sa varijantom cijevi od prednapregnutog betona. Te tri varijante čeličnog voda jesu: otvoreno na površini zemlje postavljena cijev, podzemno u tunelu postavljena slobodno ležeća cijev i podzemno u tunelu ubetonirana čelična cijev sa saradnjom stijene.

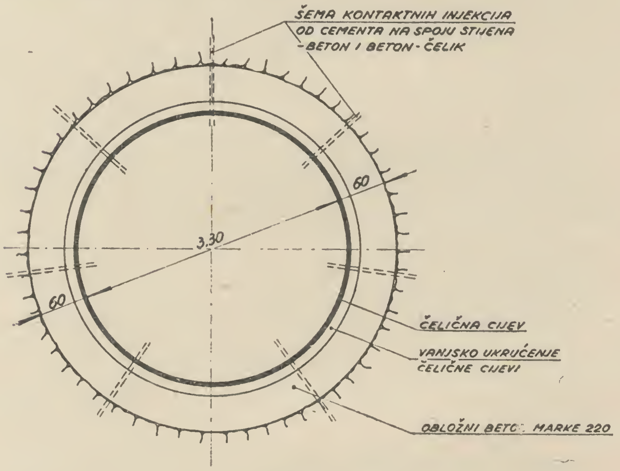
Ustanovljeno je, da je, zbog suviše teških uslova postavljenih od PAZ-a, otvoreno na površini zemlje položena cijev najskuplja, pa je ta varijanta odbačena. Od preostale dvije čelične varijante usvojena je podzemno u tunelu slobodno položena cijev kao jeftinija (sl. 1).



Slika 1

Varijanta ubetonirane podzemne čelične cijevi skuplja je uglavnom iz razloga, što je ušteda postignuta na smanjenju težine čelika uslijed saradnje brda, kompenzirana dodatnom tonažom vanjskih ukrućenja i sidara potrebnih radi osiguranja protiv gužvanja izazvanog vanjskim pritiskom (sl. 2). Pored toga je na ovaj rezultat imala znatnog utjecaja i činjenica, što je stijena (jurski

vapnenci) vrlo dobrog kvaliteta, te nije potrebno oblaganje betonom kod varijante sa slobodno položenom cijevi u tunelu.



Slika 2

Prema tome je za daljnje uporeĎenje sa prednapregnutim betonom ostala varijanta slobodno položene čelične cijevi u tunelu. Rezultati tog uporeĎenja dati su na kraju članka, no odmah možemo reći da je već u toku studija i na osnovu same činjenice da se želi uvesti prednapregnuti beton za tlačne cijevi, najavljeno prvo sniženje cijene čelika. Na licitaciji, koju je sproveo investitor (Zajednica elektroprivrednih poduzeća Hrvatske) u cilju raščišćavanja pitanja ekonomičnosti prednapregnutog betona putem nadmetanja, cijena čelika je još više snižena, tako da se je došlo do jedne neočekivano niske ponude za čelik, koja je istisnula prednapregnuti beton. Ta je licitacija bila poučna iz više razloga:

— pokazala je velik interes naše teške industrije da tlačne cijevi od čelika, kao rentabilan proizvod, zadrži za sebe pod svaku cijenu;

— pokazala je vrlo slab interes naše građevinske industrije i građevinskih poduzeća da pristupe izgradnji cijevi od prednapregnutog betona, tako da konkurencije uopće nije bilo i do sniženja cijene betonu nije moglo doći.

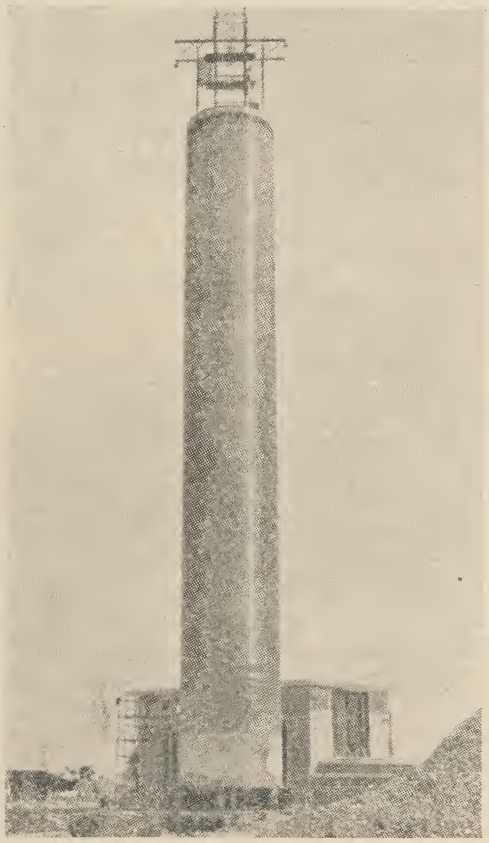
Rezultati postignuti na ovoj licitaciji donijeli su ZEP-u Hrvatske znatnu uštedu u ovom konkretnom slučaju, no oni nisu dovoljni da se donese opći zaključak da prednapregnuti beton kod cijevi nije ekonomičan i da treba u svakom slučaju projektirati čelične cijevi. Zato još nemamo dovoljno sigurnu podlogu, budući da su na rezultate spomenute licitacije utjecali neki posebni činioci, koji ne moraju uvijek doći do izražaja. Podaci koje dajemo u ovom članku poslužit će, nadamo se, da se ovo pitanje dalje studira i ne ispusti iz vida.

O prednostima upotrebe prednapregnutog betona za tlačne cijevi

U težnji da se štedi čelik i da se jeftinije gradi, naši su projektanti u poslijeratnoj izgradnji već primjenjivali armiranobetonske obloge za tlačne cijevi kod hidrocentrala. Međutim poznata je činjenica, da beton u običnoj izvedbi (a isto tako i armirani beton) nije pogodan za obloge cijevi pod pritiskom, te se prema kriteriju Mainardisa uopće ne upotrebljava kad je $pD > 200\ m^2$.

Kad pD pređe na veće vrijednosti javljaju se vlačna naprezanja u oblozi, koja beton ne može izdržati, pa nastupaju pukotine koje propuštaju vodu, gubi se energija, armatura korodira, a stijena se, ako nije kvalitetna, raskvasi. Pored toga je armatura u tim oblogama vrlo slabo iskorištena (sa oko $^1/_4$ dozvoljenog naprezanja) i ne može spriječiti pojavu pukotina, već ih samo lokalizira i sprečava njihovo širenje.

Beton je, međutim, relativno jeftin građevinski materijal, čija se upotreba nameće, ali mu je mana što ima vrlo **slabu vlačnu čvrstoću,** koja je upravo kod cijevi sa unutrašnjim pritiskom od prvenstvene važnosti. Zato je upotreba betona za tunelske obloge i tlačne cijevne vodove kod hidrocentrala, iako neizbježiva, ipak u osnovi apsurdna,



Slika 3 — Vodostan hidrocentrale Meduna, izrađen od prednapregnutog betona. Visina 60 m, promjer 6 m. Specijalna mašina izvršila je namatanje žice i prednaprezanje na vertikalnoj cijevi vodostana, koja je betonirana na licu mjesta

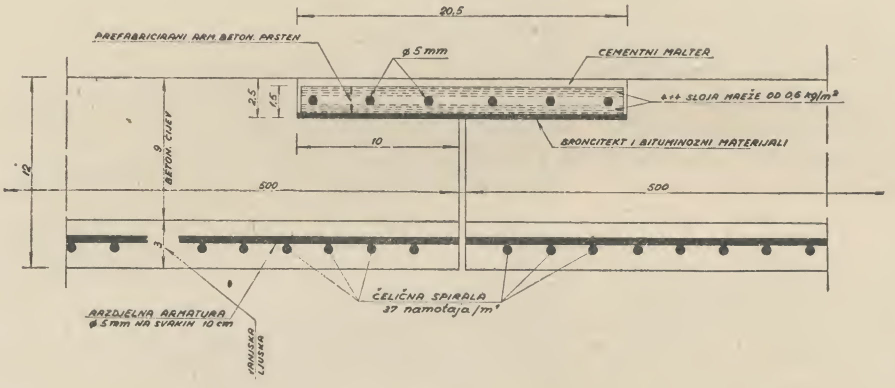
jer je beton materijal pogodan za preuzimanje visokih pritisaka, dok ga mi u hidrauličkim tunelima i cijevima opterećujemo na vlak. To je glavni razlog što se kod tlačnih cijevi kod kojih je pD visok beton zamjenjuje ili kombinira sa čeličnim cijevima.

Da bi se iskoristila osnovna osobina betona kod izgradnje cijevi pod velikim unutrašnjim pritiskom, došlo je do primjene prednapregnutog betona. Gotova betonska cijev stavi se s vanjske strane pod trajan prednapon, koji je veći (ili jednak) od pogonskog vlačnog napona izazvanog unutrašnjim pritiskom vode. Na taj način u svakom radijalnom presjeku cijevi vlada uvijek neki ostatak napona na pritisak, iako je taj presjek u pogonu napregnut na vlak. Stvar je računa da se prednapon tako odredi da preostali pritisak u jednom presjeku bude zagarantiran i u najnepovoljnijem pogonskom slučaju. Pritisak prednapona uzima se obično sa 120 kg/cm^2 ili manje, dok se čelična žica koja služi za prednaprezanje iskorištava i do 70% njene granice kidanja, što znači i do 10 000 kg/cm^2. Materijal je dakle iskorišten na najpravilniji način, onako kako to odgovara njegovim prirodnim osobinama. Time se granica upotrebljivosti betona za cijevi sa unutrašnjim pritiskom pomaknula daleko preko pD = 200 te imamo primjera da je pređena granica od pD = 1 000 m^2.

u odnosu na čeličnu cijev (iznosi oko 10% težine čelične cijevi za iste uslove); pogonska sigurnost je maksimalna, jer ne može doći do loma ili gužvanja cijevi.

Mane prednapregnutih betonskih cijevi jesu: obrada velikog broja spojeva među montažnim elementima — komadi se ne mogu izrađivati veće dužine zbog njihove velike težine, te se dužina ograničava na 5 m, što traži 200 spojeva po kilometru cijevi; svaki se spoj mora ispitati na pritisak, što usporava ugradnju; montaža je dosta teška, jer su elementi težine 20—30 tona; koljena i krivine ne mogu se izrađivati od prednapregnutog betona; promjer cijevi mora biti jednak na cijeloj dužini cijevnog voda, jer se samo pod tim uslovom može uspostaviti racionalan fabrički proces izrade elemenata (stalna oplata); u našim uslovima postoji još jedna dodatna teškoća — kod većih pritisaka treba preći na upotrebu čelične žice Φ 6, 7 ili 8 mm, a ta se ne izrađuje u zemlji, pa treba računati sa utroškom deviza (Jesenice proizvode patentiranu žicu jedino promjera 5 mm).

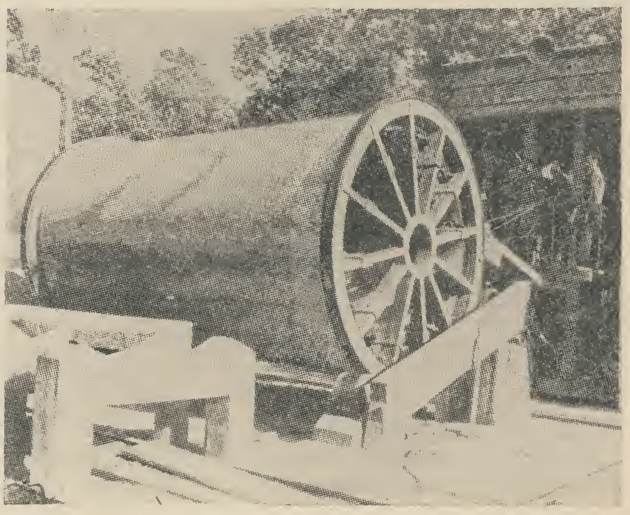
ŠEMA JEDNOG SPOJA



Slika 4

Prednosti upotrebe cijevi od prednapregnutog betona uglavnom su ove: cijevi se izrađuju na samom gradilištu u fabričkom procesu kao montažni elementi dužine 5 m; instalacije za betoniranje su uobičajene instalacije koje ima svako veće gradilište; obavijanje gotovih cijevi sa spiralnim navojima od čelične žice može se izvesti bez specijalnih mašina, međutim ni upotreba takovih mašina ne predstavlja nikakove teškoće; prednapregnuta betonska cijev nije uopće osjetljiva na vanjske pritiske koji se javljaju u pogonu hidrocentrala; kada se betonska cijev ugrađuje u tunel potreban je vrlo mali slobodan prostor između stijene i cijevi (oko 20 cm), jer nema vanjske obrade; nije potrebno injektiranje stijene i kontakta, jer se unutrašnji pritisak ne prenosi na stijenu i stijena ne sarađuje; beton kojim se ispunjava prostor između cijevi i stijene može biti slabe kvalitete, jer ima jedino zadatak da učvrsti cijev u određenom položaju; utrošak čelika za čeličnu žicu je minimalan

U državama gdje je čelik deficitan materijal, kao na pr. u Italiji, građevinarstvo se sve više oslobađa čelika, kao najskupljeg materijala, i za izradu tlačnih cjevi sve više upotrebljava prednapregnuti beton kao ekonomičniji. Prema podacima iz Italije sniženi su upotrebom prednapregnutog betona troškovi za tlačne cijevi za 20—30% u 1952 godini. Danas više nije takovo stanje, jer je u međuvremenu pala cijena čelika za tlačne cijevi, što pokazuje želju metalne industrije da taj proizvod potpuno ne izgubi. No i kod prednapregnutog betona se proizvodni proces sve više usavršava, tako da i njegova cijena pada. Gdje će se to zaustaviti danas je teško reći, no i pored sniženih cijena čeliku smatra se da je prednapregnuti beton još uvijek ekonomičniji. Konkurentska borba između čelika i betona za tlačne cijevi u Italiji se nastavlja. Ta borba je nacionalnoj ekonomiji donijela velike koristi.



Slika 5 — Betonska cijev u toku prednaprezanja — mašina vrši namatanje spiralnih navoja čelične žice i prednaprezanje (SACAIM)

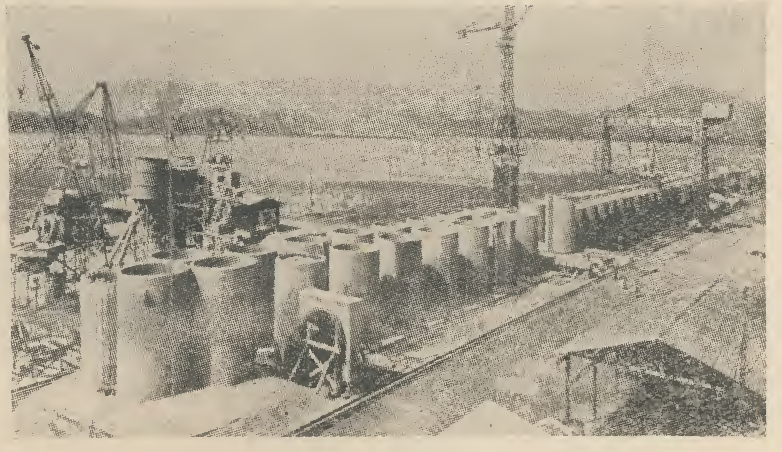
Postoji čitav niz sistema prednapregnutih betonskih cijevi u Italiji, a svima je zajedničko to, da se prednaprezanje gotovih betonskih cijevi 5 m dužine vrši sa čeličnom žicom ⌀ 5—8 mm visoke otpornosti (granica kidanja 180 kg/mm^2) u spiralnim namotajima. Fabrika za izradu prednapregnutih cijevi najčešće je na samom gradilištu, no ima primjera gdje je centralno smještena, pa se gotovi elementi razvoze čak na daljine od 150 km. U svakom slučaju fabrika prednapregnutih betonskih cijevi ima ove jedinice: fabriku betona, obično na automatski pogon za doziranje 7 frakcija agregata, cementa i vode; portalne ili Wolf-dizalice; kotlovnicu sa pumpama za grijanje toplom vodom; mašinu za namatanje žice ;opremu za izradu vakuum-betona i vibratore; uređaje za ispitivanje gotovih cijevi i spojeva; specijalna kolica za montažu i laboratorij.

Opisat ćemo nekoliko interesantnijih sistema.

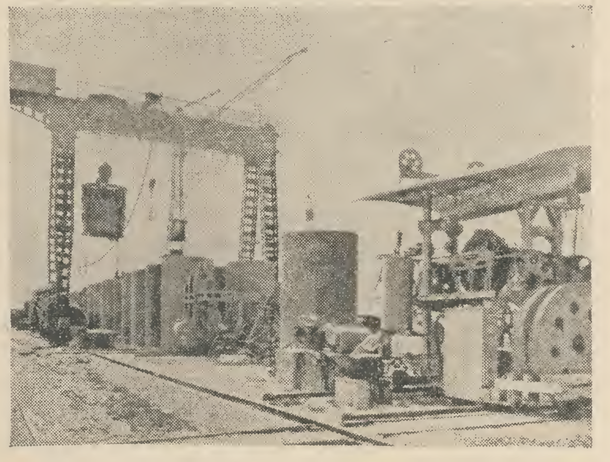
1) **SACAIM** (Società Anonima Cementi Armati Ing. Mantelli) **Venezia.** Radi po patentu Ing. Mantellia. Gotova betonska cijev dužine 5 m, koja ima laganu konstruktivnu armaturu radi ukrućenja kod prenosa i koja se betonira u vertikalnom položaju, prevrće se nakon stvrdnjavanja od 15 dana pomoću posebne mašine u horizontalni položaj, u kojemu se vrši namatanje čeličnom žicom. Namatanje u spiralnim namotajima vrši specijalno konstruirana mašina, koja automatski regulira stalan napon u žici i nepromjenljiv hod spirale kod namatanja. (Vidi sl. 5.) Po završenom namatanju cijev se izvana preko namotaja torkretira.

Fabrički uređaj vidi se na sl. 6 i 7. Fabrika betona ima kapacitet od 8 m^3/sat, automatsko doziranje 5 frakcija agregata i cementa u miješalicu od 750 l. Beton se vibrira kroz oplatu, pa se zatim primjenjuje vakuum-postupak radi bržeg skidanja oplate. Dnevno se izrađuje 16 cijevnih elemenata, a cijeli postupak izvršava 9 ljudi. Prema dobivenim podacima jedan dužni metar prednapregnute cijevi ⌀ 2 m, položene u kanal i zatrpane, stoji investitora oko 280 000 lira, a od prilike $^1/_3$ te cijene otpada na izradu same prednapregnute cijevi, ne računajući materijal. Mašinska oprema gradilišta za taj sistem dosta je teška i glomazna, tako da postaje rentabilna tek kod proizvodnje koja prelazi 1,5 km cijevi. Postavljati cijelu instalaciju za manje dužine ne isplati se.

2) **Droghetti i Masotti, Ferrara.** Ovo poduzeće ima svoj postupak, koji se u principu ne razlikuje mnogo od sistema Mantelli. Razlike su u ovome: beton se za vrijeme stajanja u oplati grije sistemom cijevi kroz koje protiče para 5—6 sati, što, pored vakuum postupka i vibriranja oplate, daje u roku od 24 sata čvrstoće do 300 kg/cm^2. Nadalje, namatanje čelične žice na cijev vrši se u vertikalnom položaju cijevi, tako da otpada prevrtanje oko 20 tona teških elemenata u horizontalni položaj.



Slika 6 — Izrada betonskih cijevi po sistemu Mantelli. Slika prikazuje deponiju gotovih elemenata prije prednaprezanja i fabriku betona iza deponije. Na kraju deponije (na slici desno) vrši se namatanje i prednaprezanje čeličnom žicom



Slika 7 — Izrada betonskih elemenata po sistemu Mantelli. Betonski elementi na deponiji prije prednaprezanja. Desno se vidi mašina za namatanje žice

Potrebni napon u žici kod namatanja dobiva se bez upotrebe specijalnih glomaznih mašina, jer se žica Φ 5 mm provlači kroz jednu matricu manjeg promjera od žice, što dovodi do zagrijavanja i rastezanja u granicama elastičnosti. U tako zagrijanom (120°) i rastegnutom stanju žica se namata na cijevni elemenat, na kojemu uslijed hlađenja i elastičnog stezanja izaziva željeni prednapon. Stvrdnjavanje na deponiji ne vrši se. Poslije ručnog premazivanja vanjske površine malterom (jeftinije je od torkretiranja!) elemenat je spreman za ugradnju.

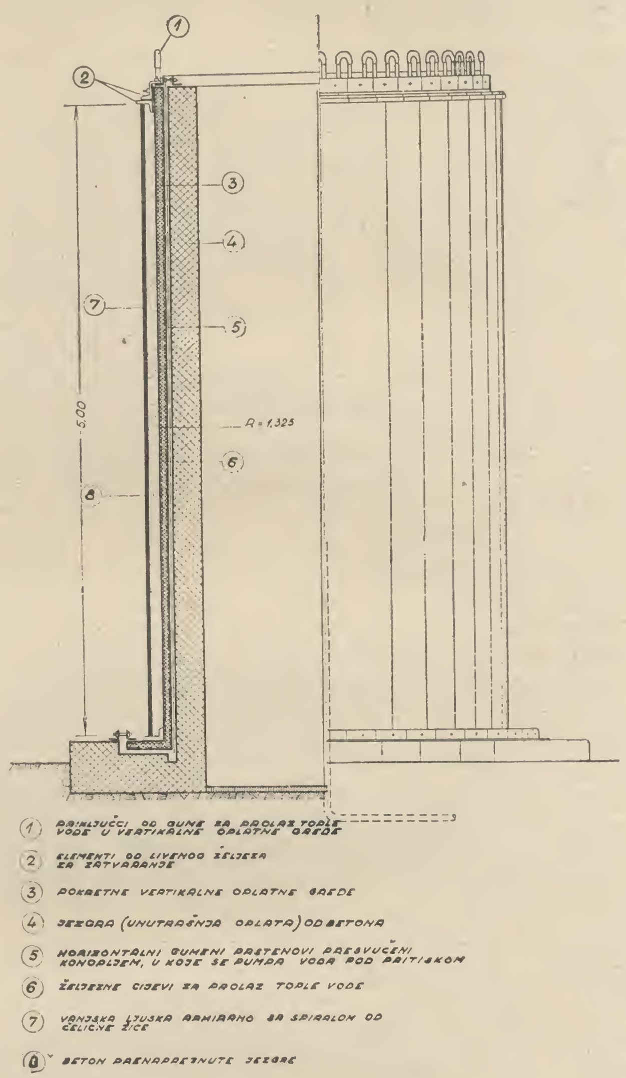
Broj montažnih spojeva smanjuje se na trećinu broja cijevnih elemenata na taj način, što se po tri elementa povezuju uzdužnom armaturom, koja se zateže (prednapreže) do određene granice napona i onda usidri u posebno izrađene prirubnice na krajevima cijevi. Ovako povezana tri elementa spajaju se sa susjednim istovjetnim blokom od 3 cijevi pomoću običnih spojeva.

Velika je prednost ovog sistema, što je instalacija jednostavnija i prema tome jeftinija, pošto otpadaju teške mašine za namatanje i prevrtanje, no mana mu je u tome, što je netočna regulacija napona u žici za prednaprezanje, tako da prednapon nije ravnomjeran.

3) **Sistem Nervi** (Nervi e Bartoli, Roma). Ovaj se sistem po koncepciji prednaprezanja potpuno razlikuje od dva prethodna, te ima za nas tu veliku prednost, što ne zahtijeva nikakove specijalne mašine osim onih koje su na jednom gradilištu uobičajene ili se lako mogu nabaviti. Šema cijevi vidi se na sl. 8.

Prvo se u vertikalno postavljenu specijalnu (pomoćnu) oplatu izlije jedna 3 cm debela ljuska od cementnog maltera, u koju je smještena spiralna armatura od čelične žice. Ta spiralna armatura nije napregnuta. Uzimajući tu ljusku kao vanjsku oplatu, izbetonira se stvarna betonska cijev Φ 2,6 m, debljine 9 cm (računata za unutrašnji pritisak u pogonu od 12 atm) Kod tog betoniranja služi kao unutrašnja oplata (jezgro) jedna stalna, 30 cm debela, kruta betonska cijev, koja daje oslonac 10 cm debelom prstenu, sastavljenom od vertikalnih betonskih greda, koje imaju rubove od željeznih ugaonika. Te su grede širine 25 cm svaka, sastavljene jedna do druge kao duge bureta, a u njima su ugrađene cijevi za grijanje toplom vodom. Između tih greda i unutrašnjeg jezgra, koje služi kao oslonac oplati, smještene su horizontalne plosnate cijevi od gume i jute ojačane čeličnom mrežom, u koje se utiskuje voda pod pritiskom.

U slobodan prostor od 9 cm, koji je ostao između vanjske ljuske od 3 cm i vertikalnih greda, ubacuje se beton u slojevima, koji se vibriraju. Kada je betoniranje ovog elementa završeno, uštrcava se u horizontalne cijevi voda pod određenim pritiskom, koji nadima gumene cijevi i potiskuje vertikalne grede prema svježem betonu, što izaziva njegovo komprimiranje. Pod tim pritiskom ispuca vanjska ljuska od 3 cm, a spiralna armatura u njoj stavlja se pod napon. Najfiniji malter iz svježeg betona ulazi u nastale pukotine vanjske ljuske, tako da se beton cijevi od 9 cm najintimnije povezuje sa ljuskom od 3 cm, tvoreći jednu zajedničku cijev od 12 cm debljine, na čijem vanjskom obodu se nalazi armatura pod naponom. Za vrijeme ovog procesa pušta se topla voda kroz vertikalne cijevi u gredama. Zagrijavanje i pritisak održavaju se 10 sati. Nakon toga se cijev hladi, a spiralna armatura, koja se je pod



Slika 8

stvorenim pritiskom rastegla, sada se steže vraćajući se u svoj početni položaj i vršeći pri tome prednaprezanje stvrdnutog betona. Željeni prednapon postiže se i regulira po volji pomoću pumpi, koje utiskuju vodu u gumene horizontalne cijevi u kojima održavaju izračunati pritisak.

Vidjeli smo u pogonu jednu instalaciju koja izrađuje prednapregnute cijevi po ovome postupku (gradilište San Quirino) i uvjerili smo se u vrlo dobar kvalitet cijevi, kako po atestima laboratorija, koji ispituje svaku cijev, tako i po vanjskom izgledu. Instalacije su vrlo jednostavne, gotovo

primitivne, a organizacija rada jednostavna i sprovedena tako da čitav proces savladava 8 ljudi. Sa 5 oplata može se za 24 sata izraditi 20 cijevi. Instalacije su rentabilne već za dužinu od 1 km cijevi. Sistem je patentiran, a za pravo licence plaća se 5% investicije za cijevi (bez iskopa i ugradnje).

Pored napred opisanih, najinteresantnijih sistema postoje i drugi, kao na pr. **sistem Vianini** (Roma), kod kojeg su cijevi centrifugirane, a instalacije glomazne sa specijalnim mašinama, koje se rentiraju za vrlo dugačke vodove od nekoliko kilometara. Vrijedno je spomenuti još jedan sistem izrade betonske obloge za tlačne cijevi, iako ne spada u grupu prednapregnutog betona. To je **sistem Montecatini,** primijenjen po ideji Ing. Finzi Dante (Milano) na centrali Castelbello za pritisak od 30 atm. Želimo samo na taj sistem upozoriti, ali ga ne opisujemo, jer postoji detaljan opis u časopisu »L'Acqua«, god. 1950, br. II. spec. Radi se o ugradnji vrlo fine čelične mreže u betonsku oblogu.

Usporedni ekonomski proračun čeličnog i betonskog cijevnog voda

Na bazi podataka prikupljenih kod talijanskih poduzeća i cijena formiranih na spomenutoj licitaciji za tlačni cijevni vod Gojak izvršili smo proračun ekonomskog dijametra tlačne cijevi i uspoređenje troškova izgradnje za dvije napred opisane varijante: čelična cijev slobodno položena u tunelu i cijev od prednapregnutog betona ubetonirana u tunel. Da bi se došlo do cijene koštanja prednapregnutog betona, izvršene su vrlo detaljne kalkulacije, koje ovdje ne možemo izložiti zbog prostora, no treba spomenuti da je čitav radni proces analiziran, da su izrađeni pretprojekti instalacija i organizacije gradilišta i da je nađena jedinična cijena za cijevni elemenat u zavisnosti od dužine voda. Na pr. za cijev ϕ 2,65 m cijena dužnog metra kreće se od 130 000 Din do 105 000 Din prema tome da li je dužina cijevi 500 m ili 1 500 m, podrazumijevajući da instalacija, čiji su troškovi oko 110 milijona Dinara, ima da posluži samo jedamput. Ta pretpostavka je bila nužna, jer se nije našlo poduzeće (ni investitor) koje bi moglo snositi rizik da amortizaciju protegne na veće količine cijevi od neposrednog zadatka na jednom postrojenju, budući da za veće narudžbe nema nikakove garancije.

Usporedni račun izveli smo za jedan dužni metar, smatrajući da će kod toga doći do izražaja kako svi bitni elementi za određivanje cijene i promjera, tako i sve što je tipično za dvije razmatrane varijante.

Pošto se je na spomenutoj licitaciji formirala jedna konkurentska cijena za čelik, koja je izuzetno niska, smatrali smo da ju ne treba unijeti kao mjerodavnu u ovaj račun, te smo ju povećali za 10%. No, kako ćemo vidjeti, i s ovako uvećanom cijenom čelična varijanta ispada jeftinija.

A) Čelična tlačna cijev slobodno položena u tunelu

Na sl. 1 dat je profil koji smo razmatrali, s tom napomenom, da smo presjek iskopa pretvorili u fiktivni kružni presjek iste površine u cilju da ga možemo izraziti kao funkciju dijametra. Stijena je takove kvalitete da se ne mora oblagati betonom. Površina iskopanog presjeka je 18,5 m², što odgovara kružnom presjeku ϕ 4,85 m. Sedla na kojima leži cijev smještena su na svakih 10 m, a duž cijevi vode betonske stepenice. Da bi taj beton došao do izražaja u cijeni izražen u funkciji dijametra cijevi, pretpostavili smo jednu fiktivnu betonsku oblogu debljine 4 cm, čija cijena koštanja pokriva troškove sedla i stepenica. Kao prvo približenje pretpostavili smo da je dijametar čelične cijevi 3,3 m.

Volumen iskopa izražen u funkciji dijametra čelične cijevi (D) dat je izrazom:

$$V_i = (1{,}47 \,.\, D)^2 \,.\, \pi \,.\, 0{,}25 = 1{,}69\ D^2\ (m^3/m^1).$$

Volumen betona sedla i stepenica dat je fiktivnom oblogom u funkciji dijametra čelične cijevi sa:

$$V_{ob} = 0{,}05 \,.\, D^2\ (m^3/m^1).$$

Težina čelične cijevi računata za srednji pritisak (p = 126 m) i prema podacima iz projekta, iznosi

$$P = 1{,}05\ pD^2\ (kg/m^1).$$

Cijene usvajamo: čelična cijev uključivo izradu i montažu sa transportom $C_č$ = 245 Din/kg; cijena ugrađenog betona C_{ob} = 12 000 Din/m³; cijena iskopa C_i = 5 000 Din m³. Ukupna cijena 1 m čelične cijevi montirane u tunelu bit će

$$C = P \,.\, C_č + V_i \,.\, C_i + V_{ob} \,.\, C_{ob},$$

odnosno, zamjenom gornjih vrijednosti i izražavajući tu cijenu u funkciji dijametra cijevi i pritiska, dobijamo

$$C = 257 \,.\, D^2 \,.\, (p + 35{,}2) \quad \text{Din} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Ako kvotu godišnjih troškova za ovu investiciju uzmemo sa 8%, onda imamo vrijednost godišnjih troškova izraženu sa S = 0,08 . C ili zamjenom vrijednosti

$$S = 20{,}56 \,.\, D^2 \,.\, (p + 35{,}2) \quad \ldots\ldots\ldots (1a)$$

Usvajajući K = 90 po Strickleru, nalazimo vrijednost godišnje izgubljene energije zbog gubitaka na padu

$$S_E = 90 \,.\, e_p \,.\, \frac{Q^3}{D^{5,33}} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

gdje je e_p cijena energije (kWh). Suma godišnjih troškova i izgubljene energije bit će minimalna, ako je dijametar cijevi dat izrazom

$$D = \sqrt[7,33]{\frac{11{,}6 \,.\, e_p \,.\, Q^3}{p + 35{,}2}} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Uzmimo cijenu energije e_p = 2,30 Din/kWh a mjerodavnu protoku Q = 36,2 m^3/sek, te dobijamo za srednji pad p = 126 m optimalni dijametar čelične tlačne cijevi:

$$D = \sqrt[7,33]{76\,300} = 3,39 \text{ m}$$

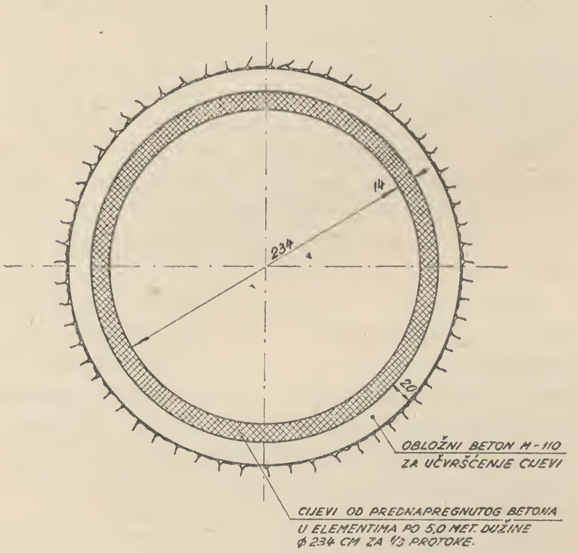
Ako ovu vrijednost uvrstimo u (1), dobijamo orijentacionu cijenu čeličnog cijevnog voda po dužnom metru

$$C = 257 \,.\, 3,39^2 \,.\, 161,2 = 475\,000 \text{ Din/m}^1.$$

(Sve su računske operacije rađene logaritmarom, što im određuje red točnosti.)

B) Cijev od prednapregnutog betona ubetonirana u tunelu

a) P r e t h o d n o d i m e n z i o n i r a n j e. Način ugradnje ove cijevi prema sl. 9.



Slika 9

Usvojen je sistem betonske cijevi koja je prednapregnuta sa spiralnim namotajem visokovrijedne čelične žice »Jesenice« ϕ 5 mm u elementima 5 m dužine, koji se izvode na samom gradilištu i montiraju u tunelu. Izrada spojeva uračunata je u jediničnu cijenu betona.

Prvo ćemo, slično kao ranije, odrediti približne dimenzije cijevi, kako bi mogli izraziti cijenu u funkciji dijametra. Zatim ćemo odrediti optimalni dijametar na osnovu te cijene i konačno izračunati stvarnu cijenu dužnog metra cijevi za dobiveni optimalni dijametar. Na kraju ćemo dati kratki statički račun napona, da bi dokazali da su isti u dozvoljenim granicama.

Cijev od prednapregnutog betona koja je hidraulički ekvivalentna čeličnoj cijevi ima nešto veći dijametar od čelične cijevi, tako da za jedan elemenat od 5 m treba računati sa težinom od preko 30 tona kod našeg pogonskog pritiska. Takova težina postavlja posebne probleme kod montaže i manipulacije uopće, te je praksa pokazala da je najpovoljnije ako se ne prelazi dijametar od 2,5 m odn. težine od 15 tona. To znači u našem slučaju, da vod treba izraditi od tri cijevi, tako da svaka turbina ima svoj dovod. To ujedno zahtijeva i tri zatvarača na ulazu u tlačne cijevi, te kod ocjene ekonomičnosti treba i to imati u vidu.

Jednim zasebnim računom, koji je sličan naprijed pokazanom, nađeno je, da je optimalni dijametar jedne jedinstvene cijevi od prednapregnutog betona 3,80 m. Kod 3 cijevi, koje su hidraulički ekvivalentne jednoj, moraju gubici u svakoj maloj cijevi (d) biti jednaki gubitku u velikoj cijevi (D). Taj uslov je zadovoljen, ako je

$$d = D \,.\, n^{-3/8}$$

gdje je n broj cijevi dijametra d. Pošto je n = 3, to će dijametar male cijevi biti d = 3,80 . 0,66 = 2,50 m.

Ovaj dijametar kao prvo približenje upotrebit ćemo za određivanje težine odnosno cijene u funkciji dijametra. Točniji dijametar dobit ćemo u drugoj fazi računa.

Unutrašnji pritisak p = 126 t/m^2 (srednji) izaziva u oblozi vlačnu silu F datu izrazom

$$F = \frac{p \,.\, D}{2} \text{ (t)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Ako postavimo uslov, da pod djelovanjem unutrašnjeg pritiska u cijevi ne dođe do iscrpljenja cjelokupnog prednapona σ^b_{pt}, već da u radijalnom presjeku obloge preostane ostatak prednapona σ^b_{ost}, onda će biti presjek čelične žice

$$f_ž = \frac{F + \sigma^b_{ost} \,.\, f_b}{\sigma^ž_{doz}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

gdje je f_b površina presjeka betona a $\sigma^ž_{doz}$ je dozvoljeni vlačni napon u žici, koji smo usvojili sa 70.000 t/m^2 za patentiranu žicu Jesenice sa granicom kidanja kod 140 000 t/m^2.

Početni vlačni napon u žici dat je sa

$$\sigma^ž_p = (\sigma^ž_{doz} + m \,.\, \sigma^b_{ost}) \,.\, \frac{f_b}{f_b + m \,.\, f_ž} \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

gdje je m = $F_ž/E_b$, usvojeno 10.

Vlačni napon u betonu σ^b_v izazvan unutrašnjim pritiskom p i uvećan za preostali prednapon σ^b_{ost} dat je izrazom

$$\sigma^b_v = \frac{F}{f_b + m \,.\, f_ž} + \sigma^b_{ost} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

i taj mora biti jednak ukupnom pritisku prednapona u betonu

$$\sigma^b_{pt} = \sigma^ž_p \,.\, \frac{f_ž}{f_b} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

uzimajući $\sigma^ž_p$ iz (6). Kao kontrola nam služi upoređivanje vrijednosti dobivenih sa (7) i (8), pošto one moraju biti jednake.

Debljina cijevi s koja je jednaka presjeku f_b računa se iz izraza

$$s = F \cdot 2\alpha = \alpha \cdot p \cdot D \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

gdje znači

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma^{ž}_{doz} - m \cdot (\sigma^{b}_{v} - \sigma^{b}_{ost})}{\sigma^{ž}_{doz} \cdot (\sigma^{b}_{v} - \sigma^{b}_{ost})} \quad \ldots\ldots (9a)$$

Iz datih formula možemo odrediti prethodne dimenzije cijevi. U tu svrhu usvajamo $\sigma^{b}_{ost} = 140$ t/m² i debljinu odnosno presjek cijevi $f_b = 14$ cm, s tim da ćemo na kraju provjeriti tu debljinu pomoću formule (9). Prema naprijed rečenom usvojeno je dozvoljeno naprezanje u žici 70 000 t/m². Elementi koje dobijemo ovim računom poslužit će nam za određivanje optimalnog dijametra cijevi.

Iz (5) dobivamo presjek žice za prednaprezanje na dužni metar cijevi ($p = 126$ t/m²; $F = 126 \cdot 2{,}5 : 2 = 157{,}5$) u vrijednosti
$f_ž = (158 + 0{,}14 \cdot 140) : 70\,000 = 0{,}00253$ m²/m¹.

Početni vlačni napon u željezu prema (6) iznosi $\sigma^{ž}_{n} = (70\,000 + 10 \cdot 140) \cdot 0{,}14 : (0{,}14 + 10 \cdot 0{,}00253) = 71\,400 \cdot 0{,}14 : 0{,}1653 = 60\,500$ t/m².

Prema (7) imamo vlačni napon u betonu uvećan za preostali prednapon $\sigma^{b}_{v} = 158 \cdot (0{,}14 + 10 \cdot 0{,}00253) + 140 = 1\,095$ t/m².

Pritisak prednapona u betonu dobivamo iz (8) i taj mora biti jednak vrijednosti dobivenoj iz (7) t. j. $\sigma^{b}_{pt} = 0{,}00253 \cdot 60\,500 : 0{,}14 = 1\,095$ t/m².

Sada provjeravamo debljinu cijevi iz (9) i (9a) uvodeći za σ^{b}_{v} veličinu dobivenu iz (7).

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{70\,000 - 10 \cdot (1\,095 - 140)}{70\,000 \cdot (1\,095 - 140)} = 0{,}45 \cdot 10^{-3}$$

$$s = 0{,}45 \cdot 10^{-3} \cdot 126 \cdot 2{,}50 = 0{,}14 \text{ m.}$$

Imajući dimenzije cijevi računamo volumen odnosno težinu i cijenu. Za volumen cijevi pišemo u dozvoljenom približenju

$$V_b = 1{,}05 \cdot \pi \cdot s \cdot D$$

pa uvrštavajući za s vrijednost datu formulom (9) imamo

$$V_b = 3{,}3 \cdot \alpha \cdot pD^2 \text{ (m³/m¹)} \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

Uvrštavajući vrijednost za α dobijemo volumen cijevi u funkciji dijametra D

$$V_b = 1{,}48 \cdot 10^{-3} \cdot pD^2$$

Količinu željeza dobivamo iz izraza

$$P_ž = 1{,}727 \cdot \frac{g}{f \cdot \sigma^{ž}_{doz}} \cdot pD^2 \quad (t) \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

gdje je f presjek žice a g težina žice po dužnom metru žice. Usvajajući žicu Ø 5 mm imamo $f = 0{,}2$ cm² i $g = 0{,}15$ kg/m¹, te uvodeći to u (11) imamo u našem slučaju

$$P_ž = 0{,}185\, pD^2 \quad \text{(kg)}$$

Iskop tunela za polaganje cijevi od prednapregnutog betona mora biti toliki, da između vanjske površine cijevi i stijene ostane slobodan prostor od 20 cm. Ovako dobiveni čisti profil povećavamo zbog prekopa za 10%, što nam daje dijametar iskopa 3,34 m. Taj dijametar iskopa možemo izraziti u dozvoljenom približenju u funkciji dijametra cijevi te dobivamo $D_i = 1{,}33$ D. Volumen iskopa dat je prema tome izrazom

$$V_i = 1{,}39\, D^2 \text{ (m³/m¹)} \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

U slobodan prostor između cijevi i stijene ugrađuje se obložni beton, koji ima za svrhu da učvrsti cijev u njezinom položaju, zbog čega ne mora biti najbolje kvalitete. Volumen tog betona dat je izrazom

$$V_{ob} = 1{,}39D^2 - \frac{\pi}{4} \cdot (1{,}10 \cdot D)^2 = 0{,}48\, D^2 \text{ (m³/m¹)} \quad (13)$$

b) Cijena ugrađene cijevi od prednapregnutog betona. Prema izvršenim detaljnim kalkulacijama dobivena je za betonsku cijev ukupne dužine najmanje 1 500 m cijena od 65 000 Din/m³. U tu cijenu uračunat je samo dio troškova za instalaciju pogona koji se odnosi na građenje i montažu, dok nije uračunat trošak osnovnih sredstava, koji čini 83% ukupnih investicija za fabriku betonskih elemenata. U datoj cijeni nije obuhvaćena čelična žica, ali je obuhvaćena izrada spojeva.

Usvajamo slijedeće cijene za daljnji račun:

beton za prednapregnutu cijev	C_b	= 65 000 Din/m³,
iskop u stijeni	C_i	= 5 000 Din/m³,
obložni beton za ispunu M—100	C_{ob}	= 10 000 Din/m³,
čelična žica Ø mm (Jesenice)	$C_ž$	= 195 Din/kg.

Ukupna cijena 1 m cijevi od prednapregnutog betona ugrađene u tunelu iznosi

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4,$$

gdje je

prema (10)	$K_1 = 1{,}48 \cdot 10^{-3} \cdot pD^2 \cdot C_b$	$= 96\, pD^2$,
prema (11)	$K_2 = 0{,}185 \cdot pD^2 \cdot C_ž$	$= 36\, pD^2$,
prema (12)	$K_3 = 1{,}39 \cdot D^2 \cdot C_i$	$= 6\,950\, D^2$,
prema (13)	$K_4 = 0{,}48 \cdot D^2 \cdot C_{ob}$	$= 4\,800\, D^2$.

Uz dodatak od 5% za licencu (inostrani patent) imamo ukupnu cijenu u funkciji dijametra izraženu u dinarima

$$K = 1{,}05 \cdot D^2 \cdot (132p + 11\,750) = 138 \cdot D^2 \cdot (p + 89) \quad \ldots\ldots\ldots (14)$$

Uzmemo li kao ranije kvotu godišnjih troškova za ovu investiciju sa 8%, dobivamo iznos godišnjih troškova u dinarima

$$S = 0{,}08 \cdot K = 11 \cdot D^2 \cdot (p + 89) \quad \ldots\ldots\ldots (15)$$

c) Proračun optimalnog dijametra cijevi od prednapregnutog betona. Optimalni dijametar računamo načelno po istom postupku kao kod čelične cijevi, samo ćemo ovdje uzeti 1/3 protoke, pošto smo usvojili 3

cijevi umjesto jedne, i pretpostaviti da je pogon centrale tako uređen da u toku godine stvarno svaka turbina preradi 1/3 protoke. Mi smo ovu pretpostavku, koja znatno pojednostavnjuje račun, provjerili uzimajući u obzir stvarno učestvovanje turbina prema liniji trajanja srednje hidrološke godine. Ta provjera je pokazala da su konačni rezultati jednaki, te da je prema tome gornja pretpostavka opravdana.

Formula (2) za cijenu godišnje izgubljene energije važi u načelu i ovdje, samo ćemo uzeti koeficijent trenja po Strickleru K = 80 i q = Q/3, pa imamo

$$S_E = 111{,}5 \,.\, e_p \,.\, \frac{q^3}{D^{5{,}33}} \quad \ldots\ldots\ldots (16)$$

Suma $S + S_E$ bit će minimum za dijametar cijevi

$$D = \sqrt[7{,}33]{\frac{e_p \,.\, Q^3}{p + 89}} \quad \ldots\ldots\ldots (17)$$

Za e_p = 2,3 Din/kWh i Q = 36,2 m³/sek imamo pri istom p = 126 t/m² kao kod čelične cijevi, slijedeći optimalni dijametar betonske cijevi od prednapregnutog betona

$$D = 2{,}34 \text{ m.}$$

Ako sada nađenu vrijednost uvrstimo u (14), tada dobivamo cijenu jednog metra ugrađene betonske cijevi, koju možemo usporediti sa cijenom čelične cijevi tek nakon množenja sa 3, budući da betonski cijevni vod ima 3 cijevi Ø 2,34 m, t. j.
$3K = 3 \,.\, 138 \,.\, 2{,}34^2 \,.\, (126 + 89) = 490\,000$ Din/m¹.

d) Uspoređenje sa čeličnim cijevnim vodom. Za čeličnu cijev dobili smo cijenu od 475 000 Din/m¹, pa vidimo da je trostruki betonski cijevni vod pod datim uslovima skuplji za 15 000 Din/m¹, što iznosi oko 3,15%. Da smo u ovaj račun uveli cijenu za čelični cijevni vod koja je stvarno postignuta na licitaciji, tada bi ta razlika bila još mnogo veća u prilog čelične cijevi. No ne smijemo izgubiti iz vida još neke činjenice koje su u ovom konkretnom slučaju govorile u prilog čelične cijevi, kao na pr. već spomenuta potreba da se kod betonskog voda predvide 3 brza zatvarača na ulazu u cijevi i da za veće pritiske od srednjeg treba zbog prevelike gustine namotaja predvidjeti veći dijametar žice (na pr. Ø 6 ili 7), koji se ne proizvodi u zemlji.

Ako se žica većeg dijametra naručuje iz inostranstva, tada prema izvršenim kalkulacijama cijena dužnog metra prednapregnute betonske cijevi raste za 82%, što samo po sebi već isključuje kombinaciju sa prednapregnutim betonom bez obzira na to da su potrebne devize.

Mi smo već naprijed spomenuli da smo prve kalkulacije vršili sa mnogo višom cijenom čelika za čelične cijevi, što je dalo povoda mišljenju da je prednapregnuti beton ekonomičniji. No zahvaljujući licitaciji koju je sproveo investitor cijena čelika spuštena je od strane metalne industrije ispod svih predviđanja, tako da je čelik uspješno mogao konkurirati prednapregnutom betonu, što pokazuje i naš komparativni račun.

No ovi rezultati imaju značaja samo za ovaj konkretan slučaj i mi ne želimo iz toga izvući konačni zaključak da cijevi od prednapregnutog betona nisu ekonomične i da njihov studij treba napustiti. Kao primjer neka posluži ovo razmatranje:

Mi smo usvojili 3 cijevi za betonski vod, jer smo se plašili velikih težina cijevi većeg dijametra. No da smo se odlučili na jednu jedinu betonsku cijev, ona bi imala dijametar 2.34 : 0,66 = 3.55 m i težinu prema (10) i (11) od 5 . pD² . (1.48 . 10⁻³ . . 2.5 + 0.185 . 10⁻³) = 0.0194 . pD² = 30.3 tone. Cijena dužnog metra jedinstvene betonske cijevi Ø 3.55 m bila bi prema (14) 138 . 215 . 12.6 = 374 000 Din/m¹, što je za 101 000 Din/m¹ jeftinije od čelične cijevi.

Ovo pokazuje da u izvjesnim prilikama cijev od prednapregnutog betona može biti ekonomičnija od čelične i da je neophodno potrebno u svakom konkretnom slučaju taj odnos utvrditi detaljnom studijom.

Mi smo ovdje pokazali jednu metodu računa ekonomičnosti ograničene točnosti, no koja omogućuje brzo orijentiranje u pogledu dijametra i cijene koštanja dužnog metra prednapregnute betonske cijevi, što je u pretprojektu od velike važnosti.

Ako u jednadžbu (1) uvedemo vrijednost za D iz (3) pa istovremeno u jednadžbu (14) uvedemo vrijednost za D iz (17), možemo postaviti odnos cijene čelika prema cijeni betona ne zaboravljajući pri tome da jednadžbu (14) množimo sa 3, jer imamo tri betonske cijevi. Taj odnos je dat izrazom

$$\frac{C}{K} = 1{,}21 \,.\, \left(\frac{p + 35{,}2}{p + 89}\right)^{0{,}726} \quad \ldots\ldots\ldots (18)$$

ili uvodeći p = 126, dobivamo za naš konkretni slučaj cijenu čelične cijevi u odnosu na tri betonske u općem izrazu

$$C = 0{,}98 \,.\, K.$$

Ako taj isti račun izvedemo za odnos čelične cijevi prema jednoj jedinstvenoj betonskoj, zamjenjujući sada u formuli (17) Q^3 sa $(3Q)^3$, dobijamo izraz

$$\frac{C}{K} = 1{,}47 \,.\, \left(\frac{p + 35{,}2}{p + 89}\right)^{0{,}726} \quad \ldots\ldots\ldots (19)$$

ili uvodeći p = 126, nalazimo cijenu čelične cijevi u odnosu na jednu jedinstvenu betonsku cijev u općem izrazu za naš konkretni slučaj

$$C = 1{,}29 \,.\, K.$$

Treba naročito naglasiti, da sve izvedene formule i naročito posljednje dvije, važe samo za ovaj konkretni slučaj koji smo razmatrali i slučajeve gdje se elementi računa mnogo ne razlikuju od

ovog, te ove formule ne treba tretirati kao općenito važeće izraze. To proizlazi iz samog načina kojim su ti izrazi dobiveni i koji smo namjerno nešto detaljnije izložili da u tom pogledu ne bude krivog tumačenja. No izložena metoda omogućava da se u svakom konkretnom slučaju lako dođe do odgovarajućih izraza.

e) Statički račun za provjeru dimenzija i dokaz napona. Sa nađenim optimalnim dijametrom D = 2,34 m izvršit ćemo račun debljine cijevi i napona zadržavajući

$\sigma^b_{ost} = 140\ t/m^2$ i $\sigma^ž_{doz} = 70\,000\ t/m^2$.

Iz (4) imamo F = 147,4 t. Usvajamo debljinu cijevi s = 0,14 m. Prema tome dobivamo iz (5) presjek žice $f_ž = (147,4 + 140 \,.\, 0,14) : 70\,000 = 0,00239\ m^2/m^1$. Ako uzmemo žicu Ø 5 mm imat ćemo 119 namotaja/m^1.

Početni vlačni napon u žici daje (6) i on iznosi $\sigma^ž_p = 71\,400 \,.\, 0,14 : 0,1639 = 61\,000\ t/m^2$.

Jednadžbe (7) i (8) daju iste vrijednosti

$$\sigma^b_v = 147,4 : 0,1639 + 140 = 1\,040\ t/m^2 = 104\ kg/cm^2$$

$$\sigma^b_{pt} = 0,00239 \,.\, 61\,000 : 0,14 = 1\,040\ t/m^2 = 104\ kg/cm^2$$

Dobivene veličine su u dozvoljenim granicama. Napon na pritisak u betonu je 104 kg/cm^2 a početni vlačni napon u žici je 6 100 kg/cm^2, dakle ispod dozvoljenog.

Zaključak

Prednje razmatranje problema ekonomičnosti prednapregnutog betona za tlačne cijevi predstavlja kratki izvod iz jedne šire studije i daje mogućnost dobivanja opće slike o uslovima pod kojima je u pojedinim konkretnim slučajevima prednapregnuti beton povoljniji od čelika. Izložene metode treba da omoguće brzu orijentaciju u tom pogledu.

Rezultat ovog razmatranja pokazuje, da prednapregnuti beton za cijevi ima tehničkih prednosti, no ekonomičnost nije u našem slučaju potpuno dokazana. Nema sumnje da bi pod drugim uslovima bilo moguće dokazati ekonomičnost prednapregnutog betona, te će biti zanimljivo pratiti daljnji razvoj ovog pitanja koje je na Gojaku načeto: čelik ili beton kod tlačnih cijevi hidrocentrala.

U slučaju Gojaka nije ekonomičnost prednapregnutog betona kod tlačnog cijevnog voda mogla doći do izražaja iz ovih razloga:

— cijena čelika je iz konkurentskih razloga toliko snižena da je to bilo nemoguće predvidjeti, a to je dalo čeliku neospornu ekonomsku prednost, tim prije, što je sav čelični lim iz domaće proizvodnje;

— stijena je vrlo dobra, te ju kod varijante slobodno položene čelične cijevi ne treba oblagati betonom, što stvara znatnu uštedu i daje čeličnoj varijanti znatnu prednost;

— zbog jakog pritiska u donjim partijama betonske cijevi postaje broj namotaja čelične žice kod Ø 5 vrlo velik, tako da je potrebno bilo preći na veće dijametre, koje naše željezare ne proizvode, a što bi u slučaju primjene prednapregnutog betona uslovilo uvoz iz inostranstva i utrošak deviza;

— težina jednog montažnog elementa jedne jedinstvene cijevi od prednapregnutog betona prelazi 30 t, što je zahtijevalo prelaz na 3 manje cijevi i izazvalo poskupljenje za oko 30%;

— dužina tlačnog voda je relativno malena za primjenu prednapregnutih betonskih cijevi, pa su početni troškovi za instalaciju fabrike cijevnih elemenata suviše teretili dužni metar cijevi;

— interes građevinske industrije, specijalno fabrike betonskih proizvoda, bio je suviše malen za uvođenje u proizvodnju prednapregnutih betonskih cijevi, iako je ta industrija mogla uz male adaptacije postojećih instalacija pristupiti ekonomičnoj proizvodnji u svom sjedištu, transportirajući gotove cijevi na gradilišta.

METALURGIJSKI SUPERSULFATNI CEMENTI

(NOVOST U NAŠOJ INDUSTRIJI CEMENTA)

Prof. **Adem Sokolović**, Zagreb

Na dan 22 juna ove god. svečano je u pogon stavljena nova tvornica metalurgijskog supersulfatnog cementa pri poduzeću »Sava« u St. Gradiški. Taj je dan značajan u historiji naših hidrauličnih proizvoda, jer su time postavljeni prvi temelji za daljnji razvitak metalurgijskih cemenata, koji su od velike važnosti za našu privredu, a naročito za naše graditeljstvo. Nagli razvitak naše građevne djelatnosti na svim područjima materijalne kulture zahtijeva nova veziva, veziva koja će se moći upotrebiti i za ona područja gdje se portland cement sam za sebe ne može upotrebiti bez opasnosti (morske vodogradnje, sadrena područja, brane i slično). Ovaj novi cement odgovorit će tim zahtjevima.

Pošto je supersulfatni cement malo poznat u našem graditeljstvu, smatram potrebnim da o tom cementu napišem nekoliko riječi i obavijestim građevinske stručnjake o njegovim osnovnim svojstvima, području primjene, načinu upotrebe, kao i njegovom značenju u našoj industriji hidrauličnih veziva.

Što je zapravo supersulfatni cement? Po francuskim normama — kod nas nije još normiran taj cement — supersulfatni cement je hidraulično vezivo koje sporo veže, a brzo stvrdnjava, odlikuje se velikom mehaničkom čvrstoćom na pritisak i savijanje, izvanrednom kemijskom otpornošću i naročito specifičnom nepropustljivosti, te neznatnom hidratacionom toplinom. Proizvodi se zajedničkim mljevenjem granulirane drozge iz visokih peći, gipsa i nekog katalizatora — vapna, klinkera i slično.

Supersulfatni cement je odavno poznat, — ali ne u današnjem značenju. Prvi patent na ovaj cement najavio je Kühl, još god. 1907, ali sve do nedavna taj se pronalazak nije industrijski iskorišćivao; ostao je kao laboratorijska uspomena u arhivima patentnih zavoda. Negdje oko god. 1935 poznati belgijski učenjak na polju hidrauličnih proizvoda Blondiau oživio je i usavršio taj patent, tako da se danas taj cement proizvodi u mnogim zemljama po postupku Blondiau i pod imenom »Sealithor«.

Naša tvornica »Sava« proizvodi ovaj cement po zaštićenom postupku koji su izradili naši stručnjaci i koji nema ništa zajedničkog sa spomenutim postupkom Blondiau.

Proizvodnja supersulfatnog cementa je na oko dosta jednostavna, ali je ona ustvari dosta komplicirana ako se želi dobiti cement sa velikom mehaničkom čvrstoćom i ovisi o mnogim faktorima: o kemijskom sastavu drozge, o načinu granuliranja i o temperaturi pri kojoj ona izlazi iz peći kao i o fizičkoj strukturi drozge. Rezultat ovisi i o vrsti gipsa i njegovoj eventualnoj preradi, te napokon o vrsti upotrebljenog katalizatora, a naročito o specifičnoj površini, finoći mljeva gotovog cementa. Prema tome uloga kemičara kod proizvodnje spomenutog cementa je dosta delikatna.

Nosioci hidrauličnosti supersulfatnog cementa. Hidratacioni proizvodi supersulfatnog cementa koji su ujedno i nosioci njegove hidrauličnosti jesu uglavnom:

gel monokalcijeva hidrosilikata,

kalcijev sulfoaluminat sa 1 odnosno sa 3 molekule $CaSO_4$ i

aluminijev hidroksid, dakle potpuno različiti od mineraloškog sastava normalnog portland cementa. Što je više ovih minerala u cementu, tim je on bolji i stabilniji. Potrebna je uredna mješavina pojedinih sirovih komponenata, poznavanje kemijskog sastava, a naročito potrebnih fizičkih i kemijskih osobina sirovina. Ovdje napominjem da su naše sirovine, granulirana drozga iz Siska, kao i ona iz Vareša, a uz to i mnoge vrste našega gipsa vrlo podesne za dobivanje prvorazrednog supersulfatnog cementa, što uostalom svjedoči i cement koji se proizvodi u St. Gradiški.

Ovom prilikom potrebno je reći nešto o katalizatoru, koji se upotrebljava u cilju da se oslobodi latentna potencijalna energija granulirane drozge i koji prema tome igra najveću ulogu na čvrstoću dobivenog cementa. Sve vanjske industrije kao katalizator upotrebljavaju klinker od portland cementa (prije su upotrebljavali gašeno vapno). I mi smo kod našeg preliminarnog ispitivanja ovih cemenata u tvornici cementa »10. kolovoz« u Solin-Majdanu kao katalizator upotrebljavali klinker ili samljeveni portland cement. Ali moramo ovdje priznati da nismo polučivali zadovoljavajuće rezultate. Tim ispitivanjem uočili smo da izvjesni minerali portland cementa štetno djeluju na osebine gotovog cementa, bolje rekavši, da neki njegovi hidrati unose perturbaciju u kristalizaciju i djeluju kao klice kod formiranja kalcijevih sulfoaluminata, glavnih nosioca hidrauličnosti supersulfatnog cementa. Posljedica toga bila je da smo dobivali cemente sa manjom čvrstoćom i u slučaju kada smo dodavali nešto više portland cementa. No kada smo iz portland cementa izdvojili one minerale koji po našem mišljenju štetno djeluju na kristalizaciju supersulfatnog cementa, opazili smo, da se čvrstoća cementa znatno povećala (30—40%). Tako na pr. supersulfatni cement, kod kojeg je kao katalizator upotrebljen normalni klinker imao je znatno manju mehaničku čvrstoću, nego onaj cement kod kojeg smo kao katalizator upotrebili klinker iz kojeg smo izdvojili neke minerale, kako se to vidi iz slijedeće tabele:

Vrsta katalizatora	čvrstoća kg cm^2	
	savijanje	pritisak
Cement sa normalnim klinkerom		
3 dana	46 kg cm^2	158 kg/cm^2
7 »	59 »	229 »
28 »	68 »	429 »
60 »	72 »	480 »
Cement sa našim katalizatorom		
3 dana	59 kg cm^2	236 kg/cm^2
7 »	70 »	457 »
28 »	98 »	685 »
60 »	106 »	850 »

Ovako očevidan i znatan utjecaj prerađenog klinkera na mehaničke čvrstoće supersulfatnog cementa nismo mogli znanstveno protumačiti zbog pomanjkanja laboratorijskog uređaja u tvornici cementa »10. kolovoz«, pa smo zamolili poznatog francuskog učenjaka Lafumu (direktora »Zavoda za industrijska ispitivanja i istraživanja hidrauličnih proizvoda« u Parizu) da on u svom laboratoriju provjeri i preispita naša opažanja, što je on sa osobitom naklonošću i prihvatio. Tvornica cementa »Sava« u St. Gradiškoj radi po postupku koji su zajedno izradili pisac ovih redova, ing. Palaveršić i ing. Vončina iz Solina.

Što je vodilo poduzeće »Sava« da otpočne proizvodnjom supersulfatnog cementa?

Ima više razloga koji govore u prilog proizvodnje odnosno podizanja tvornice supersulfatnog cementa.

1) Naša industrija željeza dnevno proizvodi oko 700—800 tona drozge. Za smještaj ovako velikih količina otpadnog materijala potrebne su velike površine. A ta se drozga može preraditi na cement, što je relativno dosta jednostavno za razliku od portland cementa ili aluminijskog cementa. Od 83 kg drozge, 14 kg gipsa i 3 kg otpadnog betona dobijamo 100 kg visokovrijednog supersulfatnog cementa, koji svojim mehaničkim čvrstoćama premašuje najbolje super cemente, a svojom kemijskom otpornošću prema agresivnim učincima ništa ne zaostaje iza aluminijskog cementa. Štaviše za neke svrhe, na pr. za armirani beton u oksidičnim područjima (u moru) ili masovna betoniranja (brane i sl.), znatno je bolji i prikladniji od aluminijskog cementa, jer u prvom slučaju armatura uslijed velike propustljivosti (permeabilnosti) aluminijskog betona dolazi u dodir sa oksidičnim tekućinama, uslijed čega ona korodira i propada; u drugom slučaju, pošto se u aluminijskom betonu razvija velika hidrataciona toplina, postoji mogućnost da beton puca, a s time u vezi da i propada. Ove mane ne postoje u supersulfatnom cementu, jer je on kompaktan i impermeabilan, a uz to njegova hidrataciona toplina je neznatna.

2) Naša industrija gipsa, pri eksploataciji rude, često nailazi na naslage anhidrita kojeg, po današnjim metodama rada, ne može preraditi na građevni gips, a usto i cementne industrije izbjegavaju upotrebu anhidrita za usporenje vezanja portland cementa (što uostalom nije ispravno, jer se i anhidrit može upotrebiti kao retarder za portland cement), i tako taj otkopni materijal čini veliki balast za svaki rudnik gipsa. Međutim i taj se otpadni materijal može vrlo korisno, i to korisnije nego sam hidrat, upotrebiti za proizvodnju supersulfatnog cementa.

3) Najveći dio svjetskih stručnjaka na polju cementne industrije mišljenja je da portland cementi, kao cementi sa mnogo vapna, nisu otporni prema većim količinama sulfata i kao takovi ne mogu se upotrebiti za morske vodogradnje, za gradnje u sadrenim područjima ili sulfatnim vodama, jer oni u dodiru sa $CaSO_4$ ili sa $MgSO_4$ prelaze u kalcijev sulfoaluminat, koji bubri, slično kako bubri živo vapno sa vodom, samo ne tako brzo, i beton se od portland cementa postepeno ruši i raspada; otuda i ograničen dodatak gipsa portland cementu (2,75—3% SO_3). Međutim ova činjenica propadanja betona u prisutnosti sulfata ne odnosi se na supersulfatni cement, a isto ni na aluminijski cement, jer kod ovih cemenata kalcijev sulfoaluminat nastaje iz otopljenog Al_2O_3 i kao takav nije opasan tj. ne bubri i ne razara beton.

4) Portland cementi su dosta osjetljivi i zato kod betoniranja velikih blokova (brane i sl.) zahtijevaju naročitu pažnju i primjenu posebnih postupaka s razloga što pri hidratizaciji razvijaju veliku toplinu (77 cal/gr), uslijed čega u sredini i na periferiji betonske mase nastaju različite hidratizacije, pri čemu se pojavljuju unutarnja naprezanja, kojima čvrstoća betona na kidanje ne može odoljeti i beton dobiva pukotine, koje vremenom mogu biti izvorom njegovog totalnog propadanja (smrzavanje i odmrzavanje). Sve ove nezgode mogu se spriječiti upotrebom metalurgijskog supersulfatnog cementa, jer je njegova hidrataciona toplina minimalna (25 cal/gr) i ne postoji bojazan od pucanja i propadanja betona.

5) Željezo portland cementi. Naše industrije portland cementa za agresivna područja i za glomazna betoniranja upotrebljavaju tzv. »željezo portland cement«, odnosno mješavinu granulirane drozge i portland cementa 30 : 70, sve u cilju da bi se pojačala kemijska otpornost betona prema sulfatima i da bi se donekle smanjila hidrataciona toplina portland cementa. Međutim ni taj cement nije apsolutno siguran za gradnju u morskim vodama ili sadrenim područjima, kako to pokazuju pokusi vršeni po metodi Le Chatelier—Anstett sa takovim cementima, koji nisu dali pozitivne rezultate, jer je pri tom ispitivanju beton bubrio (vidi: Ciment metallurgique sursulfates, strana 21, Blondiau).

Isto je vjerojatno da željezo portland cementi nisu sigurni niti za masovna betoniranja, jer i njihova hidrataciona toplina je relativno dosta velika (55 cal/gr), pa nije nemoguće da veliki betonski blokovi iz ovog cementa dobiju pukotine, a time u vezi i postepeno propadaju. I za takova područja najsigurnije je upotrebiti metalurgijske cemente ili tzv. tras-cemente.

6) Aluminijski cement. Fabrika cementa u Puli među inim proizvodi i ovaj cement. On je siguran prema sulfatnim vodama, jer nosilac njegove hidrauličnosti (kalcijev aluminat) u dodiru sa gipsom prelazi u stabilan trikalcijev sulfoaluminat, slično kao i supersulfatni cement, koji ne utječe na stabilnost aluminijskog cementa, jedino što mu se ubrzava vezanje i stvrdnjavanje dodatkom gipsa ili u prisutnosti gipsa.

Međutim uz ove pozitivne osobine aluminijskoga cementa u pogledu njegove kemijske otpornosti prema agresivnim učincima, on ima i svoje velike mane, koje isključuju njegovu upotrebu za mnoge građevinske poslove. Te mane jesu:

a) Kod gašenja sa vodom aluminijski cement razvija veliku toplinu (107 cal/gr), uslijed čega dolazi do unutarnjih naprezanja u betonskoj masi i ona puca i propada slično kao kod portland cementa, ali sa znatno bržim i jačim učinkom. Zbog toga ni aluminijski cement nije podesan za masovna betoniranja.

b) Daljnja loša strana aluminijskog cementa je njegova velika propustljivost za tekućine (permeabilnost), naročito kad se upotrebljava za armirani beton koji dolazi u dodir sa oksidičnim tekućinama na pr. morskim vodama. U tom slučaju dotična tekućina prodire u beton, dolazi u dodir sa željezom, korodira ga i ono propada. Naučno je dokazano da je propustljivost betona funkcija permeabilnosti cementnog tijesta toga betona, čija je

opet permeabilnost funkcija specifične površine dotičnoga cementa, kao i granulometrijskog sastava zrna toga cementa, a naročito njegovim sadržajem čestica veličine ispod 10 mikrona tj. čestica koje mogu potpuno hidratizirati. S obzirom da je klinker aluminijskog cementa dosta tvrd i da se uslijed toga teško melje, teško se postizava adekvantni granulometrijski sastav zrna. Ukoliko se želi to postići, to onda ide na teret troškova proizvodnje toga cementa; sa sitnoćom zrna raste i hidrataciona toplina, a uz to postoji i mogućnost segregacije naročito kod aluminijskog cementa koji zahtijeva mnogo vode za gašenje. Zato je aluminijski cement nepodesan za mnoge građevinske svrhe.

c) Nadalje aluminijski cement upotrebljava sirovine (boksit), koje bi se mnogo korisnije moglo upotrebiti za druge svrhe (za aluminij). Dalje klinker aluminijskog cementa je veoma tvrd i troši se velika energija za njegovo mljevenje. On je tri puta skuplji od portland cementa, a oko četiri puta skuplji od supersulfatnog cementa.

Iz svega gore navedenog slijedi da portland cement, a isto i aluminijski cement ne udovoljavaju svim zahtjevima koje traže pojedine građevine. Zato je bila potreba da se pristupi proizvodnji još jednog cementa, koji će nadoknaditi ono, što portland cement i aluminijski cement ne mogu pružiti.

Mehaničke osobine supersulfatnog cementa. Supersulfatni cement može se definirati kao sporo vezajući i brzo stvrdnjavajući cement. Svojim mehaničkim čvrstoćama ništa ne zaostaje iza najboljeg super cementa, a svojom kemijskom otpornošću prema agresivnim učincima spada u rang aluminijskog cementa, s tom razlikom da ne posjeduje one loše strane aluminijskoga cementa, o kojima smo prije govorili. Kod našeg ispitivanja u Majdanu dobivali smo nevjerojatne čvrstoće na pritisak i na savijanje. Prizme koje smo napravili po DIN normama 1164 za plastični malter ostavili smo stajati u morskoj vodi u Majdanu nekoliko godina. Te prizme dale su čvrstoće na pritisak preko 1 200 kg/cm², a na savijanje preko 100 kg/cm². Isto tako prizme napravljene po normama imale su nakon 60 dana čvrstoću preko 900 kg/cm² na pritisak i preko 100 kg/cm² na savijanje. Ispitivanja vršena u »Laboratoriju građevinarstva« u Zagrebu pokazuju da supersulfatni cement svojom čvrstoćom na pritisak premašuje normalni portland cement, a svojom čvrstoćom na savijanje premašuje i super cement, dok se u čvrstoći na pritisak približuje najboljem super cementu. Napominjem da su u spomenuti laboratorij poslani uzorci cementa iz prvog pokusnog rada. Međutim danas tvornica cementa »Sava« u St. Gradiški proizvodi supersulfatni cement koji u svojoj čvrstoći nadmašuje sve naše supercemente nakon 28 dana, a nakon 60 dana premašit će ga za 20—30%.

Što se tiče stalnosti zapremine supersulfatnog cementa može se reći da je mnogo stabilniji od normalnog portland cementa; razmak igala po Le Chatelieru iznosi 3—4 mm, a stabilan je i u autoklavu. Finoća mljeva iznosi oko 0,3 do 0,4 na situ od 4 900 rupica po cm². Vodocementni faktor mu je oko 0,27. Specifična površina iznosi 2 500—3 000 cm²/gr. Specifična težina 2,9. Otpornost (kemijska) prema $CaSO_4$, određena po metodi Le Chatelier—Anstett, pokazuje da je to rijedak cement, koji se tako ponaša prema sulfatima. Stabilan je za hlada i u vrućini kao i u autoklavu. Njegovo stezanje je minimalno.

Odnos njegove čvrstoće na kidanje i na pritisak je najveći koji se postizava s nekim hidrauličnim vezivom, otuda i njegova velika čvrstoća na savijanje — nakon 28 dana preko 90 kg/cm². Vrlo mala krhkoća betona i koeficijenat elasticiteta su vrlo povoljni za elemente u armiranom betonu. Vrijeme vezanja kao kod portland cementa; početak prije 3 sata, a svršetak prije 9 sati. Ovdje naročito ističem da se njegova voda za gašenje u cijelosti veže na trikalcijev sulfoaluminat, zato je on kompaktan i impermeabilan. Epruvete sastavljene od toga cementa stavljene pod pritisak od 15 atmosfera nisu kroz 3 sata propuštale vodu i zato vrijeme voda je infiltrirala u epruveti do visine samo 5,33 cm.

Athezija za željezo je izvanredna. Tako, na pr. njegova athezija na željezo nakon 3 dana iznosi 55,7 kg/cm² (portland cement 38 kg/cm²); nakon 7 dana 70,6 kg/cm² (portland cement 48); nakon 28 dana 73,7 kg/cm² (portland cement 51,8); nakon 90 dana 126,5 kg/cm² (portland cement 75,9 kg/cm²).

Ponašanje željeza u armiranom betonu. Tekuća faza supersulfatnoga cementa ima koncentraciju vodikovih iona 11,4—11,9 pH. Kod ove koncentracije prevlađuju OH-ioni u tekućoj fazi, gdje je željezo apsolutno intaktno. Prema tome ne postoji bojazan da će željezo korodirati u betonu od supersulfatnog cementa.

Područje primjene supersulfatnog cementa. Podesan je za sve podzemne i nadzemne radove i za radove koji leže u vodi, bilo kao nabijeni ili lijevani, obični ili armirani beton. Naročito se preporuča za slijedeće radove: morske vodogradnje ili gradnje u sadrenim područjima; fundiranja; betonske stupove nabijene ili lijevane; cijevi za prenos proizvoda ili tekućina koji mogu agresivno djelovati na cemente s mnogo vapna (portland cement); opločenja tvornica kemijskih proizvoda, šećerana, mljekara, fabrika akumulatora, fabrika boja itd.; radove izložene djelovanju kondenznih i čistih voda; basene i posude u kojima se drže različiti proizvodi kao: mazut, proizvodi nafte, destilirana voda, ugljični sulfid, sirupi, vinski ocat, vina itd.; cisterne; stanice za čišćenje odpadnih voda; kanalizacione cijevi i sl.; za poslove koji dolaze u dodir sa agresivnim dimnim plinovima; za poslove sondiranja i injektiranja; za fundiranje električnih stupova; za prednapregnuti beton i t. d.

Način rada sa supersulfatnim cementom. Sa supersulfatnim cementom radi se na sličan način kao i sa portland cementom.

Agregat. Narav posla određuje veličinu zrna agregata. No u svakom slučaju korisno je upotrebiti agregat čiji je granulometrijski sastav određen po jednom od poznatih pravila.

Pijesak odnosno šljunak mora biti bez gline i sitne prašine, jer inače takove primjese silno utječu na čvrstoću betona; u izvjesnim slučajevima čvrstoća opada čak do 80%.

Na gradilištima gdje se ne može dobiti čisti pijesak odnosno pijesak bez gline i prašine treba ga isprati; troškove oko pranja nadoknađuje kvalitet betona. Supersulfatni cement može se miješati i morskom vodom.

Doziranje cementa su ista kao i kod portland cementa i ovise o kvaliteti betona koji se želi postići. Važno je ovdje spomenuti da je finoća mljeva supersulfatnog cementa vrlo velika. Uslijed toga ti cementi vrše i neku ulogu plastifianta u betonu, tako da se sa manje vode može dobiti obradljivost betona bolja nego i kod jednog drugog cementa. Njegova voda za gašenje skoro se u cijelosti veže na hidrate, i zato je taj cement vrlo kompaktan za razliku od drugih vrsta cementa, kod kojih se voda za gašenje veže samo djelomično na hidrate, dok se veliki dio vode isparuje, iza čega ostaju šupljine u betonu. Otuda i veća permeabilnost drugih cemenata. Ali na svaki način treba izbjegavati dodavanje suviška vode, jer je ovaj cement vrlo sitan i može doći do segregacije, odvajanja cementa od agregata. Zato je vrlo važan faktor količina vode koja se dodaje kod upotrebe ovog cementa. Iako ovaj cement zahtijeva manje vode nego drugi cementi, on traži veću vlagu kod stvrdnjavanja nego drugi cementi. Prema tome preporuča se, gdje je to moguće, da se za vrijeme od 48 sati pokriju otvorene površine betona vlažnim vrećama u cilju da se spriječi sušenje dotične površine. Ovakav postupak koristan je za sve cemente, a naročito za supersulfatni cement. Često se događa da se na površini betona od supersulfatnog cementa pojavi prašinasta košuljica — segregacija drozge. U tom slučaju treba dotičnu površinu nakon $1^1/_2$—2 sata iza spravljanja posuti čistim cementom i uribati ga, time je takva pojava riješena.

Svi fino mljeveni cementi, a naročito supersulfatni cement, duljim stajanjem djelomično hidratiziraju i prelazi u grude. Zato se na svaki način treba truditi da se ovaj cement upotrebi prije starosti od 3 mjeseca i preporuča se da ga se ne lageruje za dulje vrijeme od 3 mjeseca.

Zaključak. Iz svega gore navedenog o novom supersulfatnom cementu proizlazi da su postojali svi preduvjeti za podizanje tvornice supersulfatnoga cementa u našoj zemlji. To zahtijevaju ekonomski momenti i potrebe našeg građevinarstva. Treba još jedanput naglasiti da postojeći naši cementi ne mogu zadovoljiti svim zahtjevima građevinarstva; jedno gradilište traži jedan, dok drugo gradilište traži drugi cement. Portland cement ima svoje područje primjene isto kao što i aluminijski ima opet svoje područje primjene. Supersulfatni cement nadoknađuje i nadopunjuje oba ova cementa.

Vjerujem da će uspjeh polučen u Staroj Gradiškoj, koja već sada proizvodi 3 vagona za 8 sati, dovesti do podizanja veće i modernije tvornice supersulfatnog odnosno metalurgijskog cementa.

Iz privrede

ORGANIZACIJA RADA U GRAĐEVNOM PODUZEĆU

Postaviti jedinstvenu organizacionu šemu i organizaciju rada za sva građevna poduzeća vrlo je teško, jer svako poduzeće i svaka radna jedinica poduzeća ima svoje specifične uslove za odgovarajući period izgradnje, a prema tome i različite potrebe. Međutim prema dosadašnjim iskustvima nekih građevinskih poduzeća, organizaciju rada moguće je sistematizirati kroz dva osnovna aspekta upravljanja, i to kroz organizaciju upravljanja i tehničku organizaciju rada.

Organizacijom upravljanja utvrđuje se:

a) nadležnost upravljanja i rukovođenja,

b) vrste službi i njihove međusobne veze, kao i dužnosti i odgovornosti svakog radnog mjesta,

c) formacija i tarifni stavovi.

Navedene postavke organizacije upravljanja građevno poduzeće rješava putem svog tarifnog pravilnika, koji je za jednogodišnji period zakon radnog kolektiva. U tarifnom pravilniku, bez obzira na to što je i zakonskim propisima utvrđeno tko upravlja poduzećem, treba ponovo i detaljnije označiti funkcije radničkog savjeta i upravnog odbora kao organa upravljanja.

Za rukovođenje proizvodnjom u poduzeću dolaze u obzir službe prema slijedećoj organizacionoj šemi:

I — Direktor poduzeća

— Izvršuje zaključke radničkog savjeta i upravnog odbora sa svojim tehničko-administrativnim aparatom.

— Izvještava radnički savjet i upravni odbor o radu u poduzeću.

— Odgovara radničkom savjetu i upravnom odboru za pravilno korištenje osnovnih i obrtnih sredstava, kao i za provođenje privrednih propisa i zakona.

— Predstavlja poduzeće prema van.

— Odgovara za disciplinu, kvalitet rada i ugled poduzeća.

— Ima pravo traženja obavijesti o radu u poduzeću i na gradilištima od svakog radnika, službenika i rukovodioca.

II — Sekretarijat

— Preko sekretara poduzeća vrši se nadzor nad administrativnim poslovanjem poduzeća, primanjem stranaka, te disciplinom dolaska i odlaska sa posla radnika i službenika, te rješavaju personalna i kadrovska pitanja.

— Vođenje općih administrativnih poslova kao urudžbeni zapisnik, arhiva, dostava, evidencija radnika i službenika, vojna pitanja, socijalno osiguranje, prepisi, nabavka kancelarijskog materijala i namještaja, čuvarska služba, telefonska centrala.

— Zastupanje poduzeća u pravnim poslovima.

— Briga o nekretninama poduzeća.

— Briga o stanovanju i prehrani radnika i službenika na gradilištima.

III — Glavni tehnički rukovodilac

— Odgovara direktoru poduzeća za pravovremeno izvršenje građevinskog zadatka, za pravilno korištenje operativnih sredstava i za unapređenje i organizaciju rada.

— Predlaže direktoru poduzeća, upravnom odboru i radničkom savjetu investicije za bolju organizaciju rada, te smanjenje odnosno povećanje operativnih sredstava.

— Daje direktive tehničkim rukovodiocima gradilišta za rad i vrši kontrolu nad njihovim radom.

— Vrši razmještaj podređenog osoblja prema potrebi posla.

— Rješava sva tehnička pitanja u vezi građenja putem svojih organa ili izravno na gradilištima.

III/1 — Tehnički odjel

— Izrađuje projekt organizacije rada.

— Pronalazi nove metode rada u svrhu pojeftinjenja i ubrzanja građenja, te prati i primjenjuje razna korisna dostignuća u radu na drugim gradilištima.

— Vrši prethodna ispitivanja materijala i konstrukcija i najpovoljnije rezultate primjenjuje na terenu.

— Vrši kontrolu kvaliteta izvršenih radova.

— Sudjeluje u komisijama za tehnički pregled i prijem, te kolaudaciju završenih građevinskih radova.

— Sudjeluje kod stručnog uzdizanja kadrova.

— Vodi kontrolu o primjeni propisa higijensko-tehničke zaštite rada na gradilištima.

— Vrši reviziju normi i prati izvršenje istih.

— Vrši nadzor nad radom normiraca na gradilištu.

— Vodi evidenciju projektnih elaborata, stručnih knjiga i časopisa.

III/2 — Komercijalni odjel

— Izrađuje kalkulacije i sudjeluje na licitacijama.

— Vrši ugovaranje izvođenja radova sa investitorima.

— Predlaže investitorima naplatu izvršenih radova putem situacija.

— Priprema dokumentaciju za tehnički pregled i prijem, te kolaudaciju završenih građevinskih radova.

— Održava i raspisuje interne licitacije obrtničkih i ostalih usluga.

— Vodi evidenciju o izvršenju plana.

III/3 — Nabavni odjel

— Ugovara dobavu materijala i alata prema godišnjem planu za poduzeće i mjesečnim trebovanjima za pojedina gradilišta.

— Izvještava glavnog tehničkog rukovodioca o stanju ugovora i postignutim rokovima.

— Organizira vlastitu proizvodnju materijala.

— Vrši reklamaciju za primljeni nekvalitetni materijal i alat.

— Vrši nadzor i raspodjelu materijala i alata iz centralnog skladišta.

— Vrši kontrolu i raspored transporta.

— Prati ulaz i izlaz materijala na temelju vlastite evidencije i mjesečnih izvještaja sa gradilišta.

III/4 — Pomoćni pogon

— Brine se o građevinskim strojevima i njihovom korištenju.

— Organizira i vodi proizvodnju u vlastitim zanatskim radionicama.

— Vodi evidenciju i obračun izvršenih usluga.

— Vodi brigu o stručnom uzdizanju učenika u privredi u svojim radionicama.

IV — Glavni financijski rukovodilac

— Odgovoran je za cjelokupno financijsko poslovanje u poduzeću i za pravilnu primjenu svih financijskih propisa i pravila.

— Dužan je da pravovremeno naplaćuje izvršene radove i ostale usluge i da u protivnom na vrijeme poduzme potrebne sankcije.

— Izvještava direktora, upravni odbor i radnički savjet o financijskom stanju u poduzeću i financijskim poteškoćama.

— Vrši raspored i razmještaj podređenog osoblja prema potrebi posla.

IV/1 — Računovodstvo

— Vrši obračun izvršenih radova i utroška materijala u pogonima i gradilištima na temelju radnih naloga i izdatnica utroška materijala.

— Vrši obračun plaća radnika i službenika u poduzeću ili preko režisera gradilišta.

— Vodi kartoteku kretanja cjelokupnog materijala i alata po količini i vrijednosti.

— Daje potrebne podatke financijskom knjigovodstvu.

— Vodi nadzor nad blagajničkim poslovanjem gradilišta.

— Vrši blagajničko poslovanje u poduzeću.

IV/2 — Knjigovodstvo

— Knjiži sve prihode i rashode poduzeća po propisanom kontnom planu.

— Vodi kartoteku osnovnih sredstava.

— Vrši kontrolu utroška obrtnih sredstava i amortizacione otpise istih.

— Izrađuje kvartalnu, polugodišnju i godišnju bilancu, odnosno završni račun poslovanja poduzeća.

V — Projektni biro

— Vrši samostalno sve projektne usluge u okviru Uredbe o projektiranju.

— Vrši projektni nadzor.

Tehničkom organizacijom rada rješava se:

a) svestrano upoznavanje postavljenog građevinskog zadatka,

b) određivanje operativnih sredstava za izvršenje građevinskog zadatka,

c) odabiranje metoda rada i raspored radova,

d) određivanje tehničkih i administrativnih organa na terenu za rukovođenje radova te njihova organizaciona forma, zaduženje i odgovornost,

e) kontrola izvršenja građevinskog zadatka.

Ove postavke tehničke organizacije rada građevno poduzeće rješava preko projekta organizacije rada, koji se izrađuje na temelju primljenog građevnog zadatka i projektne dokumentacije. Projektu organizacije rada treba posvetiti veliku pažnju i maksimum tehničkog znanja i prakse, jer od istog ovisi uspješno i ekonomično izvršenje zadatka u što kraćem vremenu.

Uzimajući u obzir raspoloživa operativna sredstva i specifičnosti gradilišta i primjenjujući najnovija dostignuća u organizaciji i mehanizaciji građenja osnovni podaci za izradu projekta organizacije rada jesu:

1) Projektni elaborat, koji sadrži:

— tehnički opis,

— situaciju, presjeke, izglede, tlocrte objekta u odgovarajućem mjerilu,

— račun konstrukcija ili postrojenja,

— dokaznicu mjera,

— predračun, odnosno opis radova sa tehničkim i općim uslovima,

— detaljne necrte u odgovarajućem mjerilu sa potrebnim tehničkim opisima.

2) Stanje raspoloživih i potrebnih operativnih sredstava. Ovdje dolaze u obzir podaci o raspoloživoj i potrebnoj običnoj i stručnoj radnoj snazi, mehanizaciji, alatu, inventaru i materijalu.

3) Podaci o terenu i lokalnim prilikama, koji sadrže oblik i konfiguraciju terena sa ostalim tehničkim podacima o terenu, mogućnost osiguranja vodom za pogon i piće, mogućnost korištenja električne energije, željeznice, puteva i priključka na njih, korištenje lokalnog materijala, te lokalnih smještajnih mogućnosti.

Nakon što se upoznaju napred navedeni podaci pristupa se izradi plana građenja za cijelo građevno poduzeće, odnosno gradilište. S ovim planom dalje se razrađuje plan pripremnih radova, šema organizacije gradilišta i šema organizacije vanjskog transporta.

Šema organizacije gradilišta sastoji se od:

a) Situacije terena u odgovarajućem mjerilu sa

— ucrtanim granicama postojećih i projektiranih objekata, razmještajem pokrivenih i otvorenih skladišta građevinskog materijala i poluproizvoda, privremenih objekata za smještaj i prehranu radnika i službenika, kancelarija, kolosijeka i puteva vanjskog i unutarnjeg transporta;

— ucrtanom mrežom vodovoda, kanalizacije, elektrike i t. d.;

— rasporedom građevinskih strojeva i uređaja.

b) Opisa organizacionog rješenja

— Korištenja lokalnih izvora sirovina, uređaja i postrojenja za pripremu i obradu materijala i poluproizvoda sa načinom i vrstom produkcije, šemom produkcije, tipom i kalkulacijom cijene po jedinici mjere.

— Skladišne službe sa veličinom zalihe materijala i poluproizvoda, te načinom razmještaja i tipom skladišta, sa planom unutarnjeg i vanjskog transporta, te organizacijom utovara i istovara i određivanjem cijena koštanja transportnih operacija.

— Mehanizacije radova na gradilištu sa izborom vrste i tipova građevinskih strojeva, njihovim razmještajem i postavom privremenih radionica za opravku.

— Osiguranja gradilišta vodom, elektrikom i t. d. sa proračunom potrošnje i koštanja.

— Smještaja i prehrane radnika i službenika sa proračunom izgradnje privremenih stambenih i ostalih objekata, te mogućnosti upotrebe postojećih objekata.

Šema organizacije gradilišta upotpunjuje se projektima za izradu pomoćnih objekata na gradilištu, te ostalih postrojenja gradilišta, i na temelju tih projekata sastavlja se predračun svih pripremnih radova, koji pokazuje ekonomičnost usvojenog rješenja. Koštanje pripremnih radova može znatno utjecati na cijenu koštanja objekta i zbog toga je vrlo važno posvetiti punu pažnju pripremnim radovima, što je glavni zadatak projekta organizacije rada.

Tehnički i administrativni organi na terenu, t. j. njihova organizaciona forma, zaduženje i odgovornost moraju biti usklađeni s tehničkom organizacijom radova tako, da u potpunosti budu sprovedeni u život postavljena organizaciona rješenja pod uslovima brzog, solidnog i ekonomičnog građenja.

Pošto je osnovna jedinica građevnog poduzeća gradilište, koje može biti veliko, srednje i malo, za neposredno rukovođenje radovima dolaze u obzir slijedeća radna mjesta odnosno službe:

1) Tehnički rukovodilac gradilišta (šef gradilišta)

— Odgovara direktoru poduzeća i glavnom tehničkom rukovodiocu za pravovremeno izvršenje građevinskog zadatka i za sprovođenje u život projekta organizacije rada.

— Upoznaje se sa građevinskim zadatkom i projektom organizacije rada, rješava sva tehnička pitanja i raspored rada na gradilištu s podređenim organima u okviru svojih ovlaštenja.

— Brine se za pravovremeno osiguranje potrebnih i operativnih sredstava za izvršenje građevnog zadatka.

— Surađuje s investitorom i odgovornim projektantom u vezi izvršenja građevnog zadatka.

— Odgovoran je za disciplinu i kvalitet rada na gradilištu.

— Kontrolira i ovjerava sve administrativne i financijske dokumente gradilišta.

— Prisustvuje komisijama za tehnički prijem i pregled, te kolaudaciji završenih građevinskih radova.

— Vodi kontrolu primjene propisa higijensko-tehničke zaštite rada.

— Supotpisuje investitoru građevinsku knjigu i dnevnik i sa predstavnikom investitora izrađuje obračun izvršenih radova.

2) Rukovodilac gradnje (objekta) ili pogona (poslovođa)

— Odgovoran je tehničkom rukovodiocu gradilišta za izvršenje radova na objektu, kvalitet i disciplinu na radu.

— Vodi radnu knjigu izvršenih radova i uposlenih radnika.

— Upoznaje se s projektnim elaboratom objekta i vrši raspored radova izdavanjem zadataka brigadama ili pojedincima.

— Trebuje materijal i alat iz skladišta gradilišta i ovjerava utrošak i rashod.

— Daje podatke za obračun izvršenih radova.

— Brine se i odgovoran je za pravilnu primjenu higijensko-tehničke zaštite rada.

— Daje dnevne izvještaje o izvršenim radovima na objektu tehničkom rukovodiocu radova.

3) Administrativno-financijska služba radilišta

— Vrši administrativno poslovanje na radilištu (primanje i slanje dopisa, evidencija radnika i službenika, socijalno osiguranje, vojna evidencija, izdavanje potvrda za liječničke preglede i nesretne slučajeve, izvještaji za upravu poduzeća, statistički ured i socijalno osiguranje, mjesečni, tromjesečni i godišnji).

— Vrši normiranje radova.

— Izrađuje obračune na temelju radnih naloga.

— Vodi kartoteku o primanju i izdavanju materijala i o stanju materijala izvještava upravu poduzeća svaki mjesec.

— Vrši isplate radnika i službenika kao i ostale blagajničke i financijske poslove.

Navedene službe na gradilištu može vršiti jedna ili više osoba, što ovisi o veličini gradilišta i ostalim uslovima na gradilištu.

Kontrolu izvršenja građevnog zadatka treba vršiti u toku građenja, da bi se mogli na vrijeme zapaziti svi nedostaci i njihovo uklanjanje izvršiti u toku radova, što se postizava neposrednom vezom sa gradilištima putem obilazaka te organizacijom odgovarajuće evidencije izvršenja građevnog zadatka na bazi dinarske vrijednosti.

Zvonko Sabolović

Iz inozemnih časopisa

VIJADUKT PREKO TJESNACA MACKINAC IZMEĐU JEZERA MICHIGAN I HURON

(Le Génie Civil, Pariz, juni 1955)

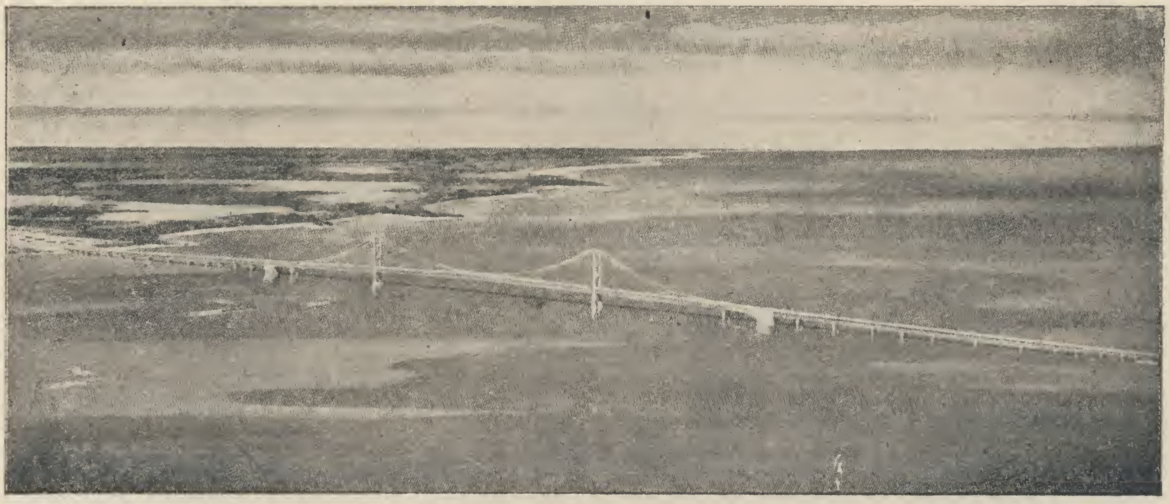
Prema projektu inženjera D. B. Steinmana počelo je u julu 1954 građenje vijadukta preko tjesnaca Mackinac između jezera Michigan i jezera Huron u SAD. Ovaj će vijadukt imati dužinu 5,5 km (zajedno s pristupnim rampama dužina će iznositi preko 8 km). Najveći raspon mosta iznosi 1 158 m, pa će to biti po dužini drugi most na svijetu (rekord nosi još uvijek most preko Zlatnih Vrata u San Francisku sa 1 280 m).

Tjesnac Mackinac presijeca državu Michigan na dva dijela: južni poluotok sa 108,000 km² i sjeverni poluotok sa 42,700 km². Južni poluotok je gusto naseljen, tamo su i svi veći gradovi (među njima i Detroit). Sjeverni poluotok je sada rijetko naseljen, ali posjeduje velika prirodna bogatstva (šume, rude); tamo je razvijena poljoprivreda i postoje idealni uslovi za turizam.

Novi vijadukt će osim povezivanja tih dvaju poluotoka imati i šire značenje. Računa se da će na taj vijadukt biti upućen promet s područja SAD-a i Kanade, na kojima stanuje oko 30 miliona ljudi. Sada se prevoz preko tjesnaca vrši skelama. Vožnja traje oko 1 sat, ali kola čekaju dugo na ukrcavanje: ljeti redovno po 3 do 4 sata, a za vrijeme praznika i po 15 do 17 sati, tako da redovi kola iznose katkada i po 30 km. Preko vijadukta će vožnja trajati svega 10 minuta.

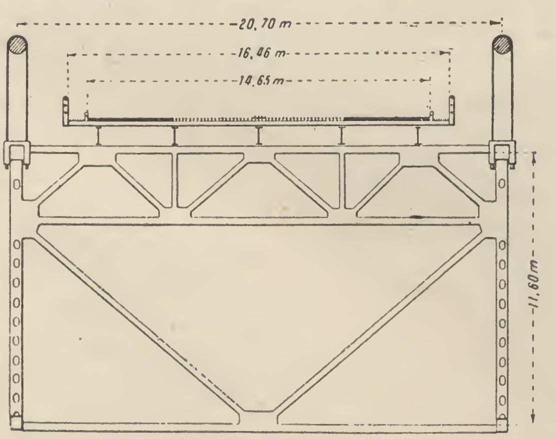
Od juga prema sjeveru most je raščlanjen ovako: 16 rešetkastih nosača sa paralelnim pojasevima između stupova broj 1 do 17, viseći most između stupova broj 17 do 22 i 12 rešetkastih nosača sa paralelnim pojasevima između stupova broj 22 do 34 (slika 1). Otvori najbliži visećem mostu imaju raspone od 100 do 170 m, krajnja polja su raspona između 49 i 61 m.

Preko mosta će voditi 4 prometne trake za vozila. Ukupna širina kolovoza je 14,65 m, trotoari su 90 cm širine. Srednja staza širine 60 cm dijeli dva prometna smjera (slika 2).

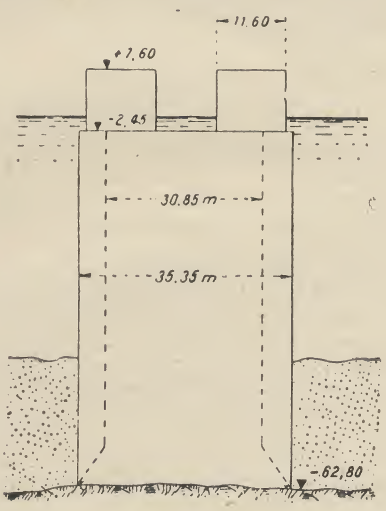


Slika 1 — Pogled na vijadukt s istoka (maketa prema projektu ing. Steinmana)

Kod visećeg su mosta poprečna ukrućenja i kolovoz prostudirani tako, da mogu pružiti otpor vjetru. Da bi se popravile aerodinamičke karakteristike visećeg mosta, bit će dvije srednje trake za vozila, trotoari i srednja staza izvedeni kao otvorena rešetka, kroz koju može strujati zrak. Dvije vanjske trake za vozila bit će izvedene na normalan način (laka betonska ploča s asfaltnim zastorom).



Slika 2 — Poprečni presjek visećeg mosta u sredini raspona

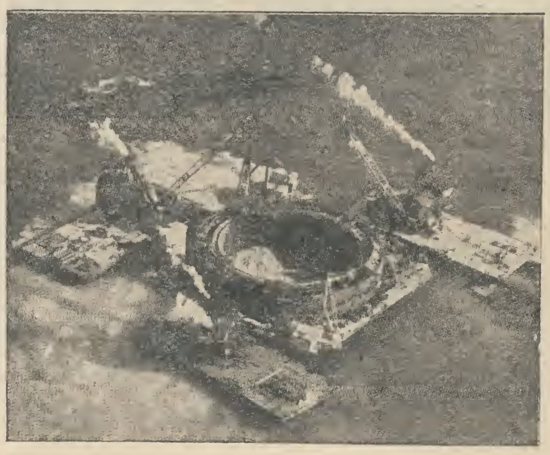


Slika 3 — Vertikalni presjek kesonom glavnog južnog stupa visećeg mosta (stup br. 19)

Glavni kabeli su promjera 62 cm, a sastoje se iz 37 užeta sa 348 žica od galvaniziranog čelika promjera 5 mm (u svemu u jednom kabelu ima 12876 žica). Visina tornjeva preko kojih su zategnuti kabeli iznosi 107 m nad kolovozom. Vješalice, koje nose mosnu konstrukciju, postavljene su na udaljenost 12 m os od osi, a sastoje se iz užeta 57 mm promjera.

Glavni stupovi visećeg mosta (stupovi broj 19 i 20) fundirani su pomoću kesona (slika 3). Keson se sastoji iz dva koncentrična valjka promjera 35,35 m odnosno 30,85 m, koji se pri dnu spajaju koničnim proširenjem unutrašnjeg valjka. Prostor 4,5 m između dva valjka razdijeljen je vertikalnim radijalnim stijenama na 8 komora. Težina čelične konstrukcije jednog kesona iznosi 2,530 t. Na obali je bio izrađen donji dio kesona i prevučen plovljenjem na pravo mjesto. Upuštanjem vode u komore keson se spuštao u jezero. Kad je gornji rub kesona bio blizu površine jezera, vršilo se nastavljanje kesona pripremljenim čeličnim pločama i zatim nastavilo spuštanje. Operacija se ponavljala dok keson nije čvrsto sjeo na dno jezera. Zatim su komore ispunjene betonom i iskopom trošnog tla iz kesona nastavljeno je spuštanje kesona do zdrave pećine (sl. 4). Poslije toga je unutrašnjost kesona ispunjena betonom do kote 2,45 m ispod površine jezera, odrezan unutrašnji čelični valjak na istoj koti i izbetonirana dva armirano betonska postolja za čelične stupove. Postolja su promjera 11,6 m, a visine 10,05 m. Najzad će i vanjski čelični valjak biti odrezan na koti 2,45 m ispod površine jezera.

Beton je rađen po postupku »prepakt«. Po tom postupku se u konstrukciju najprije sipaju krupni agregati, a zatim se u tu masu injektira mort iz cementa,



Slika 4 — Iskop unutar kesona glavnog sjevernog stupa visećeg mosta (stup br. 20)

finog pepela, pijeska i specijalnog sredstva za povećanje fluidnosti.

Na sličan način se rade i ostali stupovi. Pošto je tamo voda znatno manjih dubina, rad je, naravno, jednostavniji.

Za izvedbu teškog fundiranja u vodi nabavljena je jaka mehanizacija, čija vrijednost iznosi oko 5 miliona dolara, a koja se sastoji uglavnom iz 10 plovećih derika nosivosti 35 t, 50 t i 75 t, lađe s tvornicom betona, 4 dereglije za transport cementa, 2 dereglije sa uređajima za zavarivanje, jednog tankera, 10 dereglija za transport materijala, 6 mahuna i 5 brodova za prevoz ljudstva.

Ukupni troškovi gradnje vijadukta iznosit će oko 100 miliona dolara. Most će biti gotov potkraj 1957 godine.

Mostarina će biti za 10% viša nego sadašnja skelarina ili prosječno oko 3 dolara po kolima (za putnička kola 2 dolara, a za kamione prema tonaži).

Računa se da će već prve godine (1958) preko mosta preći 2 miliona vozila i da će se most posve amortizirati za 18 godina (poslije čega će prolaz vozilima biti besplatan). B. P.

INOZEMNE TVRTKE I OPREMA ZA VELIKE HIDROELEKTRANE U SAD

(Engineering News-Record, New York, septembar 1955)

Na nedavno održanoj licitaciji za dobavu generatora i transformatora za elektranu kod velike Chief Joseph brane na rijeci Kolumbiji jedna engleska tvrtka je nudila 6 generatora za 5,46 miliona dolara ili za blizu 900.000 dolara niže od najpovoljnije američke ponude (Westinghouse Electric Corp. Pittsburgh).

Poslije dužeg razmatranja vlada je donijela odluku da se dobava generatora ustupi američkoj fabrici, uz obrazloženje da je utvrđeno da je Pittsburgh kraj u kome postoji »značajna nezaposlenost« (što znači da 6% radne snage nije uposleno).

Talijanske, švicarske, japanske i engleske tvrtke prigovaraju postupku Sjedinjenih Američkih Država, koje same forsiraju izvoz u strane zemlje, a istovremeno odbijaju inozemne niske ponude pod izlikom da bi bila nanesena šteta američkoj privredi, i to u doba kada je prosperitet SAD besprimjeran.

U američkim vladinim krugovima se govori o donošenju propisa, po kojima bi ubuduće dobave teške opreme za velike federalne hidroelektrane bile rezervirane za američke tvrtke. Ali izgleda da će vlada sa svojim prijedlogom morati ići pred Kongres.

B. P.

VAGANJE KAMIONA U KRETANJU

(Engineering News-Record, New York, avgust 1955)

Uskoro će u Americi pomoću elektronskih vaga kontrolirati težinu kamiona, dok se oni budu kretali po cestama normalnom brzinom. Jedna probna vaga je već montirana u kooperaciji federalnih organa za ceste s organima države Virginija, i to na autoputu broj 1 kod Woodbridgea.

Dok se kamioni kreću jedan za drugim ispred elektronske vage, ona automatski bilježi njihovu brzinu, osovinske pritiske i udaljenost osovina. Ako je kamion pretovaren ili ne vozi određenom stazom ispred elektronske vage, to se automatski signalizira kontrolnoj stanici, koja je postavljena nekoliko stotina metara dalje. Tamo kola zaustavljaju, važu na običnoj kolskoj vazi i globe šofera ako je teret veći nego što dozvoljavaju cestovni propisi.

Osim za kontrolnu službu, nove elektronske vage će korisno poslužiti i za statističke svrhe. Pomoću njih će se bez ometanja prometa moći prikupljati podaci o frekvenciji kamiona razne osovinske udaljenosti i pritiska na izvjesnoj dionici ceste.

Princip vaganja je ovaj :u cestu je ugrađena uska slobodna platforma, koju nose čelije sa stupićima, spojenim sa žičanim mjerilima naprezanja. Kod prelaza kola preko platforme nastaju promjene u električnoj struji koja se pušta kroz mjerila. Te promjene se reproduciraju pomoću elektronskih aparata kao svjetlosne trake na osciloskopu, gdje se fotografiraju.

Postavljena probna vaga stoji oko 6.000 dolara, ali se računa da će cijena ubuduće biti snižena na 4.500 dolara.

Otkako je u pogonu probna vaga, kamioni se na odnosnoj dionici ceste pretovaruju sve rjeđe, tako da sada procenat pretovarenih kola iznosi ispod 1%, dok je ranije taj procenat iznosio oko 5%. B. P.

Vlasnik i izdavač: Društvo građevinskih inženjera i tehničara Hrvatske. Glavni urednik: Ing. F. Simić. — Tisak: »Tipografija« grafičko-nakladni zavod, Zagreb.